



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.*
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



PUENTES METÁLICOS DEL SIGLO XIX EN ESPAÑA

**APROXIMACIÓN A SU VALOR
CULTURAL COMO OBRAS PÚBLICAS**

Trabajo realizado por:
Camila Zamora Acosta

Dirigido:
María Luisa Ruiz Bedía
Fernando Cañizal Berini

Titulación:
Grado en Ingeniería Civil

Santander, octubre de 2019

TRABAJO FIN DE GRADO

Agradecimientos

Quiero agradecer a mi familia, por haberme brindado toda su confianza y apoyo, en especial por haber creído en mi al decidir emprender este viaje.

A mis amigos por estar conmigo a pesar de la distancia ofreciéndome todo su apoyo y alentándome a lograrlo.

A mis compañeros que me ayudaron durante este desafío en España, transformándose en mi familia.

A los profesores María Luisa Ruiz Bedia y Fernando Cañizal Berini por haber confiado en mí y haberme guiado en la elaboración de este Trabajo Final de Grado.

Y por último al Subdirector de Ordenación Académica el profesor Jorge Rodríguez Hernández por prestarme toda su ayuda y apoyo durante mi estancia en la Universidad de Cantabria.

RESUMEN



RESUMEN

TÍTULO TFG: Puentes metálicos del siglo XIX en España. Aproximación a su valor cultural como obras públicas.

AUTORA: Camila Zamora Acosta.

DIRECTORES: María Luisa Ruiz Bedia, Fernando Cañizal Berini.

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Civil.

Palabras clave: patrimonio de obras públicas, puentes metálicos, rehabilitación estructuras metálicas, siglo XIX.

Las obras públicas en general, y los puentes en particular, forman parte del patrimonio cultural, pero en España, al igual que en muchas partes del mundo, no se le ha brindado la importancia ni la protección adecuada. Incluso al ser la rehabilitación de puentes metálicos del siglo XIX una tarea habitual en la ingeniería, frecuentemente se hace al margen del valor cultural que tenga la obra a intervenir, siendo pocos los puentes de este tipo que cuentan con la protección que proporciona la legislación en materia cultural (declaración de BIC), la cual es la única de obligado cumplimiento cuando se programa una intervención.

Este trabajo se centrará en el estudio de algunos puentes metálicos del siglo XIX construidos en España y desde ahí se intentará ayudar a crear conciencia sobre el valor cultural de este tipo de estructuras. Entender la importancia cultural que poseen los puentes se convierte en una necesidad durante los proyectos de actuaciones de conservación, que deben velar por preservar este valor cultural de la mano de poder garantizar su seguridad estructural y funcional.

Son objetivos específicos de este Trabajo Final de Grado, sistematizar información dispersa sobre algunos de los puentes metálicos más antiguos que existen en España y reunirla en una ficha de contenido; además de elaborar una breve bibliografía rigurosa de carácter científico, que permita una consulta rápida cuando se precise formar una consideración cultural previa a una actuación de conservación. También se busca conocer con cierto detalle un ejemplo de éxito de rehabilitación de un puente metálico concreto, para lo que se ha elegido el puente de Logroño (La Rioja). Con todo ello se pretende proporcionar algunas herramientas al ingeniero civil que le ayuden a identificar los valores culturales de los puentes y hacerlos visibles a la comunidad científica y a la ciudadanía.

Para cumplir con el objetivo general de esta investigación primero se reunió información sobre el contexto histórico del siglo XIX, buscando entender y conocer el origen del hierro como material de construcción, teniendo en cuenta los principales avances en la resistencia de

materiales y en la ingeniería estructural. Luego se definieron las tipologías de los puentes metálicos de la época y se estudió la realidad española en cuanto a la construcción y uso de los puentes de hierro, y de aquí se seleccionaron los 19 puentes de hierro más relevantes en España para realizar una ficha de catalogación.

El trabajo se ha articulado en cinco apartados. El primero es introductorio y en él se detallan el objetivo general y los específicos además de la motivación, métodos y alcance del estudio. En el segundo se plantea el contexto histórico sobre la época donde se comenzó a utilizar el hierro como material de construcción hasta su uso específico en la construcción de puentes, abarcando las diferentes tipologías de puentes y el conocimiento teórico que permitió su construcción. En el tercero se plantea el caso español exponiendo la importancia de la construcción de los puentes de hierro en la ampliación de las redes de comunicación como las carreteras y las líneas de ferrocarril durante el siglo XIX. Al final de este se incorporan fichas completas de puentes construidos en las diferentes partes de España para ejemplificar las tipologías de puentes utilizadas. En el cuarto apartado se expresan las limitaciones de la normativa existente en España, proporcionando algunos puntos importantes para tener en cuenta en el proceso de restauración de un puente, ejemplificando todo esto con el caso de la restauración del puente de hierro de Logroño. Finalmente, en el último apartado se recogen las conclusiones más relevantes obtenidas como la importancia de ser respetuoso con nuestro patrimonio cuando se intervienen obras públicas como los puentes, además de entregar una pequeña guía en cuanto a los puntos que se deben tener en cuenta al realizar una intervención y por último se plantea la posibilidad de hacer un estudio de similares características en otros países. Además, se realizó una bibliografía completa que permita servir de guía.

Bibliografía principal:

- Libros

Aguiló, M. (2007). El carácter de los puentes españoles. Madrid: ACS.

Arrúe Ugarte, M^a B. Fernández Troyano, L. Martínez Ocio, M^a J. (2011). El puente de Hierro de Logroño. Logroño: Fundación Práxedes Mateo-Sagasta: Instituto de Estudios Riojanos.

Fernández Troyano, L. (2004). Tierra sobre agua. Visión histórica universal de los puentes. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Hernández, M. (s.f). El hierro en la construcción. Barcelona: Ceac.

Nadal i Oller, J. (1975). El fracaso de la revolución industrial en España, 1814-1913. Barcelona: Ariel.

Navascués Palacios, P. (2007). Arquitectura e ingeniería del hierro en España (1814-1936). Madrid: El Viso.

Querol, M. (2010). Manual de gestión del patrimonio cultural. Madrid: Akal.

Regalado Tesoro, F. (2010). Apuntes personales de un ingeniero de caminos sobre la restauración del patrimonio monumental construido (el caso particular de los puentes). Valencia: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Silva Suárez, M. (2011). El Ochocientos. De los lenguajes al patrimonio. Zaragoza: Real Academia de Ingeniería – Institución Fernando el Católico.

- **Artículos**

Arrúe Ugarte, B. (2000). Aportación de la historia del arte a la metodología de estudio y catalogación de puentes. Artigrama, 15, 15-42.

Fernández Ordóñez, J. (1995). Obras públicas y monumentos. Revista de Obras Públicas, 3347, 7-13.

Fernández Troyano, L. (2014). El puente, obra de ingenieros (II). Puentes metálicos y de hormigón. Revista de Obras Públicas, 161 (3560), 47-58.

Manterola Armisén, J. (1984). Evolución de los puentes en la historia reciente. Informes de la Construcción, 36 (359-360), 5-35.

- **Congreso**

Burgos Núñez, A. (2015). Análisis estructural en el diseño de los primeros puentes metálicos del sudeste de España. Trabajo presentado en el Noveno Congreso Nacional de Historia de la Construcción.

- **Documentos de fuentes electrónicas**

Heredia Campos, M. (2009). La elegancia de lo útil (Extraído el 3 de enero de 2019 de: <http://www.fomento.gob.es/AZ.BBMF.Web/documentacion/pdf/A22185.pdf>)

Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español. Boletín Oficial del Estado, núm. 155, de 29 de junio de 1985. Recuperado de <https://www.boe.es/eli/es/l/1985/06/25/16/con>.

- **Recursos Web**

Revista de Obras Públicas. Órgano profesional de los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. www.ropdigital.ciccp.es.

TODOPATRIMONIO. Portal de información sobre documentación y publicaciones en el ámbito de la conservación del patrimonio cultural. www.todopatrimonio.com

Instituto Geográfico Nacional. Cartografía y Datos geográficos. <http://centrodedescargas.cnig.es>

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Visor SigPac. <http://sigpac.mapama.gob.es/fega/v>

SUMMARY

SUMMARY

TITLE TFG: 19th-century metal bridges in Spain. Approach to its cultural value as public works.

AUTHOR: Camila Zamora Acosta.

DIRECTORS: María Luisa Ruiz Bedia, Fernando Cañizal Berini.

DEGREE: Degree in Civil Engineering.

Keywords: public works heritage, metal bridges, metal structures rehabilitation, 19th century.

Public works in general, and bridges, in particular, are part of cultural heritage, but in Spain, as in many parts of the world, they have not been given the importance of adequate protection. Even as the rehabilitation of metal bridges of the nineteenth century is a common task in engineering, it is often done outside the cultural value of the work to be intervened, being few bridges of this type that have the protection provided by legislation in cultural matter (BIC statement), which is the only one required when an intervention is scheduled.

This work will focus on the study of some nineteenth-century metal bridges built in Spain and from there we will try to help raise awareness about the cultural value of these types of structures. Understanding the cultural importance that bridges possess becomes a necessity during conservation action projects, which must ensure that this cultural value is preserved in order to guarantee their structural and functional safety.

Specific objectives of this Final Degree Project are to systematize scattered information on some of the oldest metal bridges that exist in Spain and gather it in a content file; In addition to preparing a brief rigorous bibliography of a scientific nature, which allows a quick consultation when it is necessary to form a cultural consideration prior to a conservation action. It also seeks to know in some detail an example of successful rehabilitation of a concrete metal bridge, for which the Logroño bridge (La Rioja) has been chosen. With all this, it is intended to provide some tools to the civil engineer to help him identify the cultural values of the bridges and make them visible to the scientific community and citizens.

To meet the general objective of this research, information was first gathered on the historical context of the nineteenth century, seeking to understand and know the origin of iron as a building material, taking into account the main advances in materials resistance and structural engineering. Then the typologies of the metal bridges of the time were defined and the Spanish reality regarding the construction and use of the iron bridges was studied, and from here the 19 most relevant iron bridges in Spain were selected to make a record of cataloging

The work has been articulated in five sections. The first is introductory and the general and specific objectives are detailed in addition to the motivation, methods, and scope of the study. In the second one, the historical context about the time when iron began to be used as a construction material until its specific use in the construction of bridges, covering the different types of bridges and the theoretical knowledge that allowed its construction began. In the third, the Spanish case is presented, exposing the importance of the construction of iron bridges in the expansion of communication networks such as roads and rail lines during the 19th century. At the end of this, complete bridge files built in the different parts of Spain are incorporated to exemplify the types of bridges used. In the fourth section, the limitations of the existing regulations in Spain are expressed, providing some important points to take into account in the process of restoring a bridge, exemplifying all this with the case of the restoration of the iron bridge of Logroño.

Finally, in the last section, the most relevant conclusions obtained are collected, such as the importance of being respectful of our heritage when public works such as bridges are intervened, in addition to providing a small guide as to the points that must be taken into account when making an intervention and finally the possibility of doing a study of similar characteristics in other countries. In addition, a complete bibliography was made that would serve as a guide.

Main bibliography:

- Books

Aguiló, M. (2007). El carácter de los puentes españoles. Madrid: ACS.

Arrúe Ugarte, M^a B. Fernández Troyano, L. Martínez Ocio, M^a J. (2011). El puente de Hierro de Logroño. Logroño: Fundación Práxedes Mateo-Sagasta: Instituto de Estudios Riojanos.

Fernández Troyano, L. (2004). Tierra sobre agua. Visión histórica universal de los puentes. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Hernández, M. (s.f). El hierro en la construcción. Barcelona: Ceac.

Nadal i Oller, J. (1975). El fracaso de la revolución industrial en España, 1814-1913. Barcelona: Ariel.

Navascués Palacios, P. (2007). Arquitectura e ingeniería del hierro en España (1814-1936). Madrid: El Viso.

Querol, M. (2010). Manual de gestión del patrimonio cultural. Madrid: Akal.

Regalado Tesoro, F. (2010). Apuntes personales de un ingeniero de caminos sobre la restauración del patrimonio monumental construido (el caso particular de los puentes). Valencia: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Silva Suárez, M. (2011). El Ochocientos. De los lenguajes al patrimonio. Zaragoza: Real Academia de Ingeniería – Institución Fernando el Católico.

- Articles

Arrúe Ugarte, B. (2000). Aportación de la historia del arte a la metodología de estudio y catalogación de puentes. Artígrama, 15, 15-42.

Fernández Ordóñez, J. (1995). Obras públicas y monumentos. Revista de Obras Públicas, 3347, 7-13.

Fernández Troyano, L. (2014). El puente, obra de ingenieros (II). Puentes metálicos y de hormigón. Revista de Obras Públicas, 161 (3560), 47-58.

Manterola Armisen, J. (1984). Evolución de los puentes en la historia reciente. Informes de la Construcción, 36 (359-360), 5-35.

- **Congress**

Burgos Núñez, A. (2015). Análisis estructural en el diseño de los primeros puentes metálicos del sudeste de España. Trabajo presentado en el Noveno Congreso Nacional de Historia de la Construcción.

- **Documents from electronic sources**

Heredia Campos, M. (2009). La elegancia de lo útil (Extraído el 3 de enero de 2019 de: <http://www.fomento.gob.es/AZ.BBMF.Web/documentacion/pdf/A22185.pdf>)

Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español. Boletín Oficial del Estado, núm. 155, de 29 de junio de 1985. Recuperado de <https://www.boe.es/eli/es/l/1985/06/25/16/con>.

- **Web resources**

Revista de Obras Públicas. Órgano profesional de los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. www.ropdigital.ciccp.es.

TODOPATRIMONIO. Portal de información sobre documentación y publicaciones en el ámbito de la conservación del patrimonio cultural. www.todopatrimonio.com

Instituto Geográfico Nacional. Cartografía y Datos geográficos. <http://centrodedescargas.cnig.es>

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Visor SigPac. <http://sigpac.mapama.gob.es/fega/v>

ÍNDICE

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

1. LOS PUENTES DE HIERRO	1
1.1. CONTEXTO	1
1.2. PENSAR EN NUEVOS PUENTES	3
1.3. EL HIERRO	4
1.4. TIPOS Y FORMAS	5
1.4.1. Puentes de arco	6
1.4.2. Puentes de viga	13
1.4.3. Puentes pórtico	17
1.4.4. Puentes sustentados	18
2. LOS PUENTES METÁLICOS DEL SIGLO XIX EN ESPAÑA	21
2.1. PANORAMA GENERAL	21
2.2. CARRETERAS Y FERROCARRIL, REVULSIVO PARA NUEVOS PUENTES	21
2.3. TIPOS DE PUENTES METÁLICOS EN ESPAÑA	23
2.3.1. Puentes arco	23
2.3.2. Puentes de viga	25
2.3.3. Puentes Bow String	27
2.3.4. Puentes colgantes	29
2.4. FICHAS PUENTES METÁLICOS DE ESPAÑA DEL SIGLO XIX	31
- Puente de la Alameda de Osuna	37
- Puente de Isabel II	39
- Puente de Triana	41
- Puente Príncipe Alfonso	43
- Viaducto de Ormaiztegui	45
- Puente colgante de Valladolid	47
- Puente de El Grado	49

- Viaducto de Madrid	50
- Puente de Alfonso XII	52
- Puente de Hierro de Logroño	53
- Puente internacional de Tuy	55
- Puente de Hierro de Mérida	57
- Viaducto de Pontevedra	59
- Viaducto de Anchurón	61
- Puente de Hierro de Zaragoza	63
- Viaducto del Hacho	65
- Viaducto del Salado	67
- Puente de Enrique Estevan	69
- Puente de Arganda	71
3. INTERVENCIÓN EN PUENTES DE HIERRO CON VALOR CULTURAL	73
3.1. CONTEXTO NORMATIVO	73
3.2. DETECCIÓN DE PROBLEMAS Y PLANIFICACIÓN DE ACTUACIONES	75
3.3. ANÁLISIS DE CASO: EL PUENTE DE HIERRO DE LOGROÑO	77
3.3.1. Actuación en la cimentación	78
3.3.2. Actuación en el tablero	79
3.3.3. Tratamiento final	82
CONCLUSIÓN	
BIBLIOGRAFÍA	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1. Esquema Primera Revolución Industrial	1
Figura 1. 2. Esquema comparativo Revolución Industrial	2
Figura 1. 3. Partes de un puente arco	6
Figura 1. 4. Puente de Coalbrookdale	7
Figura 1. 5. Puente de Coalport	8
Figura 1. 6. Puente de Sunderland	9
Figura 1. 7. Puente de Buildwas	10
Figura 1. 8. Puente de Craigellachie	11
Figura 1. 9. Viaducto de Garabit	12
Figura 1. 10. Puente de St. Louis	12
Figura 1. 11. Acueducto Longdon Upon Tern	15
Figura 1. 12. Acueducto Pontcysyllte	16
Figura 1. 13. Puente Britannia	17
Figura 1. 14. Viaducto Sfalassa	18
Figura 1. 15. Jacob's Creek Bridge	19
Figura 1. 16. Puente de Strömsund	20
Figura 2. 1. Colocación del puente del Cea	23
Figura 2. 2. Colocación del puente del Cea	23
Figura 2. 3. Puente Isabel II	24
Figura 2. 4. Puente de Pino, sobre El Duero (Zamora)	24
Figura 2. 5. Viaducto de Ormaiztegui	26
Figura 2. 6. Puente de Prado	28
Figura 2. 7. Vista general puente de Treto	28
Figura 2. 8. Vista en planta y alzado puente de Treto	29
Figura 2. 9. Puente de Lascellas	30
Figura 2. 10. Puente de Vizcaya	31
Figura 3. 1. Puente de Hierro de Zamora con corrosión	75
Figura 3. 2. Solución refuerzo de pilas puente de Hierro de Logroño	78
Figura 3. 3. Colocación de semitubo en pila	78
Figura 3. 4. Retirada del firme original	79
Figura 3. 5. Hormigonado losa	80
Figura 3. 6. Limpieza de la pintura mediante chorro de agua	81
Figura 3. 7. Detalle de las tres capas de pintura	82
Figura 3. 8. Restauración completa del puente de Hierro de Logroño	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1. Puente de Coalbrookdale o Iron Bridge [17]	7
Tabla 1. 2. Puente de Coalport [18]	8
Tabla 1. 3. Puente de Sunderland [18]	9
Tabla 1. 4. Puente de Buildwas [18]	10
Tabla 1. 5. Puente de Craigellachie [18]	11
Tabla 1. 6. Acueducto Longdon Upon Tern [18]	15
Tabla 1. 7. Acueducto Pontcysyllte [18]	16
Tabla 1. 8. Puente Britannia [17]	17
Tabla 1. 9. Viaducto Sfalassa [17]	18
Tabla 1. 10. Jacob's Creek Bridge [21]	19
Tabla 1. 11. Puente de Strömsund [17]	20
Tabla 2. 1. Ejemplos puentes arco en Europa [22]	25
Tabla 2. 2. Ejemplos puentes arco en España [22]	25
Tabla 2. 3. Ejemplos puentes viga en España [22]	27
Tabla 2. 4. Ejemplos puentes metálicos de España del siglo XIX	32

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

En España las obras públicas y, por lo tanto, parte del patrimonio cultural, poseen una consideración escasa y en consecuencia una protección efectiva bastante limitada. Los puentes son, entre todas las construcciones de la ingeniería civil, unas de las que más interés suscitan [1], y tanto en cantidad como en calidad constituyen un rico patrimonio español.

La rehabilitación de puentes metálicos del siglo XIX es una tarea habitual en la ingeniería, que en España con frecuencia se hace al margen del valor cultural que tenga la obra a intervenir. Sucede que son pocos los puentes de este tipo que cuentan con la protección que proporciona la legislación en materia cultural (declaración de BIC), la única de obligado cumplimiento cuando se programa una intervención.

Señala F. Regalado [2] que la restauración no ha formado parte del curriculum formativo del ingeniero civil y ello explica en buena medida que no se tenga querencia por la restauración y conservación de las obras de ingeniería. Así que han sido otros profesionales, singularmente los arquitectos, quienes se han hecho cargo de estas tareas.

Son pocos los ingenieros de caminos españoles que se han planteado seriamente el asunto de la conservación de las obras públicas heredadas. El trabajo llevado a cabo por Carlos Fernández Casado (1905-1988) con las construcciones de época romana fue pionero, y en muchos aspectos aún no ha sido superado. Con ellos transmitió la enseñanza de que el valor de la ingeniería antigua no sólo es conocimiento histórico, también sustento de la ingeniería moderna. En la bibliografía de este trabajo quedan recogidos sus principales textos en este ámbito, pero cabe destacar aquí sus tareas de consolidación del acueducto de Segovia en la década de 1970.

Otra importante contribución fue la del ingeniero José Antonio Fernández Ordóñez (1933-2000), que constató la inexistencia de leyes específicas para proteger la obra pública, y que abogaba por un concepto de rehabilitación amplio, no solo conservar la materialidad de la obra sino también darle un uso, una razón para seguir viviendo. En relación con la rehabilitación de los puentes históricos este ingeniero propuso establecer cinco categorías de valores – científico, estético, histórico, simbólico y funcional- que se deberían usar para analizar los puentes objeto de rehabilitación [3].

Se han recogido aquí los dos planteamientos de mayor peso, pero se debe ser consciente de que hay otras personas que han llevado a cabo actuaciones que contribuyen a formar un corpus teórico sobre el asunto de la rehabilitación de puentes históricos.

Esta situación da contexto al problema que se busca abordar en esta investigación, que es la necesidad que tienen los técnicos que proyectan las actuaciones de conservación de ser capaces de reconocer los valores culturales que guardan los puentes metálicos y preservarlos a la vez que garantizar su seguridad estructural y funcional, ya que es frecuente que estén en uso y así deban seguir.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

Objetivo general.

Desarrollar la conciencia del valor cultural de las obras públicas con el fin de poner en práctica una de las competencias que debe adquirir quien se gradúa en ingeniería civil en España, que es el conocimiento de la historia de la ingeniería civil y la capacidad para valorar las obras públicas.

Objetivos específicos.

1. Sistematizar información dispersa sobre algunos puentes metálicos más antiguos que existen en España y reunirla en una ficha de contenido.
2. Conocer con cierto detalle un ejemplo de éxito de rehabilitación de un puente metálico: el puente de hierro de Logroño.
3. Elaborar una breve bibliografía rigurosa de carácter científico, que permita una consulta rápida cuando se precise formar una consideración cultural previa a una actuación de conservación.
4. Proporcionar herramientas al ingeniero civil que le ayuden a identificar los valores culturales del puente y hacerlos visibles a la comunidad científica y a la ciudadanía.

Alcance.

El trabajo se centra en conocer puentes metálicos proyectados y contruidos en España en el siglo XIX desde el punto de vista de su valor cultural. Además, se seleccionaran y catalogaran aquellos puentes de mayor interés patrimonial, buscando su contextualización en la época atendiendo a la evolución del material estructural (hierro) y a las familias de puentes (arcos, vigas, colgantes).

Metodología.

El trabajo se ha elaborado atendiendo a los siguientes puntos:

- Recopilación de información respecto al contexto histórico del siglo XIX, buscando entender y conocer el origen del hierro como material de construcción, teniendo en cuenta los principales avances en la resistencia de materiales y en la ingeniería estructural.
- Definición de la tipología de los puentes metálicos de la época.
- Estudio de la realidad española en cuanto a la construcción y uso de los puentes de hierro.
- Selección de los puentes de hierro más relevantes en España para realizar una ficha resumen.

- Análisis de un caso concreto de rehabilitación utilizando el proyecto de rehabilitación del puente de hierro de Logroño.
- Conclusiones.

ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO

CAPÍTULO 1: LOS PUENTES DE HIERRO

Contexto histórico sobre la época donde se comenzó a utilizar el hierro como material de construcción hasta su uso específico en la construcción de puentes, abarcando las diferentes tipologías de puentes y el conocimiento teórico que permitió su construcción.

CAPÍTULO 2: LOS PUENTES METÁLICOS DEL SIGLO XIX EN ESPAÑA

Estudio más específico del contexto de España, exponiendo la importancia de la construcción de los puentes de hierro en la ampliación de las redes de comunicación como las carreteras y las líneas de ferrocarril durante el siglo XIX en España. Por último, fichas completas de puentes construidos en las diferentes partes de España para ejemplificar las tipologías de puentes utilizadas.

CAPITULO 3: RESTAURACIÓN PUENTES DE HIERRO

Exposición de la limitada normativa existente en España, proporcionando algunos puntos importantes para tener en cuenta en el proceso de restauración de un puente, ejemplificando todo esto con el caso de la restauración del puente de hierro de Logroño.

1. LOS PUENTES DE HIERRO

1. LOS PUENTES DE HIERRO

1.1. CONTEXTO

Para poder entender cómo se llegó a lo que actualmente conocemos como puente metálico, y poder estudiar su desarrollo, deberemos comprender el contexto en donde se comenzó a desarrollar tanto el material, como la ingeniería que conlleva este tipo de estructura. Es por esto, y como visión general, que comenzaremos hablando sobre la etapa histórica en donde se produjeron los mayores avances y por lo tanto el inicio del desarrollo de la ingeniería como la conocemos actualmente, esta etapa se denomina “Revolución Industrial”.

El termino Revolución Industrial, es utilizado para enmarcar un proceso histórico que conllevó cambios en diversas áreas, como en la agricultura, demografía, tecnología, transporte, entre otros, los cuales se comenzaron a producir a mediados del siglo XVIII en Inglaterra, para luego difundirse a Europa e incluso a otros continentes.

La Revolución Industrial se subdivide en etapas, las cuales se pueden ver esquematizadas a continuación en la figura 1.1 y 1.2.

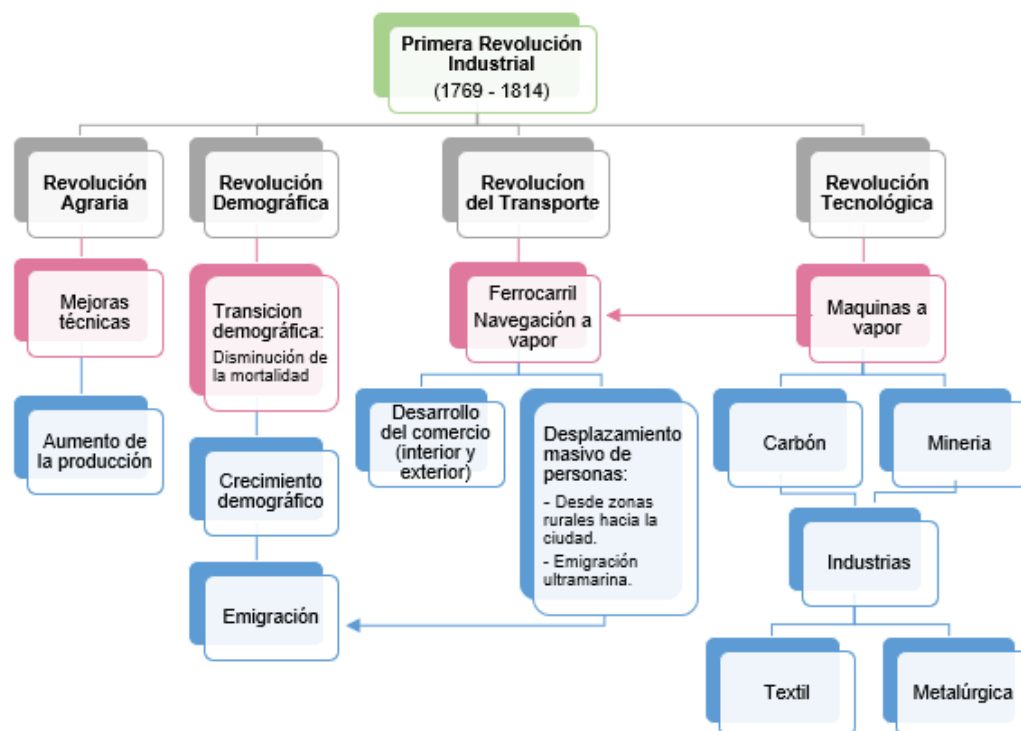


Figura 1. 1. Esquema Primera Revolución Industrial
Fuente. Domínguez (2000)

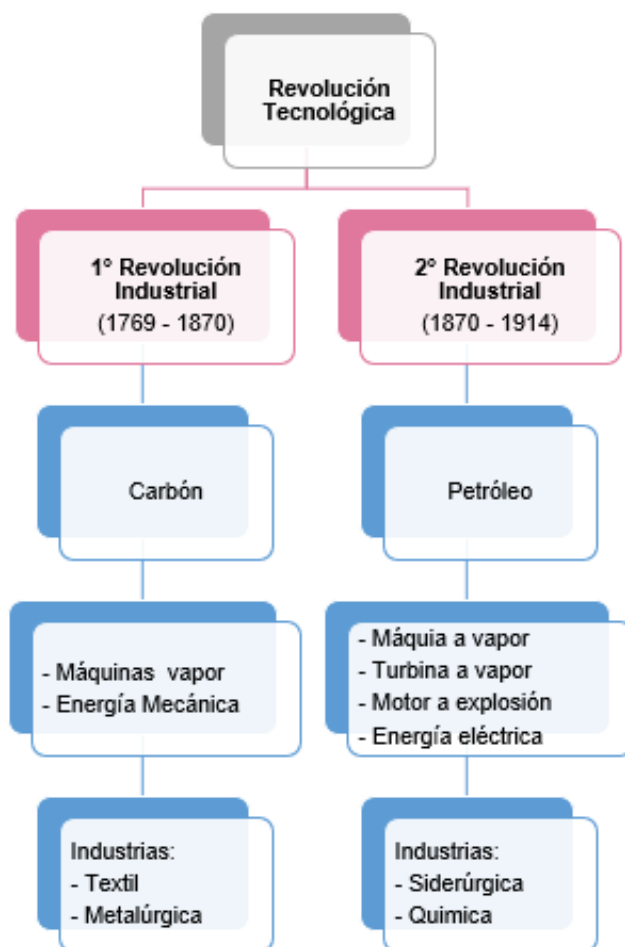


Figura 1. 2. Esquema comparativo Revolución Industrial
Fuente. Domínguez (2000)

La industria siderúrgica fue muy desarrollada durante la revolución industrial, permitiendo la manufacturación de hierro en grandes cantidades y su uso masivo en diferentes áreas, siendo una de ellas la utilización como material estructural en la construcción. Este nuevo material de configuración lineal, debido a su proceso de fabricación, no fue tan bien recibido por todos, llegando incluso a decirse que fue uno de los causantes de la separación de dos profesiones que hasta este momento estaban muy ligadas, la arquitectura y la ingeniería civil. Los arquitectos de la época veían al hierro como un material poco estético, por lo cual, a pesar de las múltiples ventajas que presentaba, continuaron desarrollando sus obras con los materiales que hasta ese momento se utilizaban, la madera y la piedra, al menos en la fachada. En cambio, los ingenieros en su búsqueda por alcanzar la máxima eficiencia en cuanto a resistencia y diseño, sumado al gran desarrollo del estudio de resistencia de las estructuras, vieron en el hierro la solución a las necesidades que presentaba la época.

1.2. PENSAR EN NUEVOS PUENTES

El progreso de los conocimientos respecto a la resistencia de las estructuras se origina con el desarrollo de modelos matemáticos de cálculo, los cuales tenían como base científica elementos como la “Resistencia de Materiales” y la “Teoría de las estructuras”, siendo los principales científicos y matemáticos que ayudaron a este gran desarrollo los que se detallan a continuación.

- **Galileo Galilei (1564-1642).** Astrónomo, filósofo, ingeniero, matemático y físico italiano que escribió el libro "Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno à due nuove scienze" (1638) en el cual habla sobre los fundamentos de la mecánica como ciencia, poniendo fin a la física aristotélica [4].
- **Robert Hooke (1635-1703).** Científico inglés, el cual formuló la Ley de elasticidad de Hooke, la cual explica el comportamiento de un cuerpo elástico al aplicar una fuerza [5].
- **Jacob y John Bernoulli (1654-1705) / (1667-1748).** Matemáticos y científicos suizos que realizaron grandes avances en el estudio de las matemáticas, como en cálculos de integración, teoremas para funciones trigonométricas e hiperbólicas, entre otros, teniendo gran influencia en otros matemáticos [6].
- **Leonhard Paul Euler (1707-1783).** Matemático, filósofo y físico suizo que realizó un gran aporte a la terminología y notación matemática [7].
- **Charles Augustin Coulomb (1736-1806).** Matemático, ingeniero y físico francés, el cual desarrolló la teoría de torsión recta y un análisis del fallo del terreno [8].
- **Thomas Young (1773-1829).** Científico inglés que se dedicó al estudio del comportamiento de los materiales elásticos al aplicar una fuerza, desarrollando el módulo de elasticidad longitudinal. También destacó en el estudio de elementos estructurales, por el descubrimiento del eje neutro en las vigas flectadas, entendiendo de mejor forma el comportamiento de estas al estar sometidas a una carga, lo que ayudó a determinar la sección que debían presentar las vigas para alcanzar una mayor eficiencia tanto económica como en resistencia, derivando en la confección de vigas doble T, las cuales presentan mayor sección donde están más solicitadas. Siguiendo el propósito de máxima eficiencia tanto económica como resistente, se desarrollaron diferentes perfiles, solucionando problemas constructivos como la unión de vigas doble T, entre otras cosas [9].
- **Claude-Louis Henri Navier (1785-1836).** Ingeniero y físico francés que desarrolló la Teoría general de la elasticidad. Además, presentó una teoría sobre la distribución tensional en la sección transversal de una viga flectada, entregando un método general para el cálculo de problemas estáticamente indeterminados, permitiendo resolver los problemas de cálculo que presentaban la viga empotrada y apoyada [10].

- **Barré de Saint-Venant (1797-1886).** Científico y matemático francés, siendo uno de los precursores del nacimiento de la mecánica de medios continuos, ya sea en sólidos deformables, como en fluidos. Además, estudió los esfuerzos en estructuras, desarrollando principios y teoremas, que hablan sobre que las tensiones longitudinales de un prisma solicitado por fuerzas puntuales y la torsión [11].
- **Carlo Alberto Castigliano (1847-1884).** Matemático y físico italiano que se dedicó al estudio de los desplazamientos en un sistema lineal y elástico (Método Castigliano) [12].
- **Christian Otto Mohr (1835-1918).** Ingeniero civil alemán que desarrolló el análisis de estructuras estáticamente indeterminada (Teoría de Maxwell-Mohr), creó el método gráfico bidimensional de los Círculos de Mohr para representar tensiones y desarrolló una nueva teoría de resistencia de materiales basada en el esfuerzo cortante [13].

Se debe tener en cuenta que uno de los modos de desarrollo de conocimiento en cuanto a la teoría estructural y a la construcción de puentes utilizando el hierro y sus derivados, fue la construcción de los primeros puentes metálicos, como es el caso del puente Coalbrookdale, aunque en su diseño no se logró el uso eficiente del hierro, sirvieron como motivación para seguir descubriendo y aprendiendo sobre este nuevo material y sus características, lo cual se vio aún más potenciado con la llegada del ferrocarril, debido a que se buscaba nuevos materiales para poder conseguir las características requeridas para este tipo de medio de transporte.

1.3. EL HIERRO

La industria siderúrgica fue desarrollando nuevos procesos de fabricación de las aleaciones del hierro, buscando conseguir su máxima capacidad, tanto estructural como económica. De este proceso se derivan tres tipos, que se diferencian en su composición (contenido de carbono) y fabricación.

Materiales derivados del hierro:

1. Hierro fundido.
2. Hierro forjado o dulce.
3. Acero.

El hierro fundido, fue la primera aleación con la que se construyó y es obtenido mediante el horno de coque. Es un material moldeable, duro y quebradizo, que presenta una resistencia a compresión de hasta 5000 [Kg/cm²], mientras que a tracción de solo 200 [kg/cm²], por lo que no puede ser utilizado para la confección de elementos que deban ser solicitados a tracción, como son las vigas. Debido a estas desventajas, se desarrolló el hierro forjado. Este tipo de hierro se obtuvo con la modificación del tipo de horno, a uno de pudelado y aumentando la

eficiencia en la forja utilizando martillos más grandes, lo que provocó una disminución del coste económico de producción y una mejora de la calidad, disminuyendo el contenido de impurezas y carbono, este último menor al 0,5%; y aumentando la resistencia a tracción hasta 1000 [kg/cm²], lo cual permitió su utilización en elementos como vigas laminadas.

El hierro, tanto fundido como forjado, se diferencian del acero por el contenido de carbono, teniendo el primero sobre el 2% de carbono en su composición, mientras que el acero menor de 2%, consiguiendo un material menos frágil y con mayor resistencia a la tracción de 2000 [kg/cm²], esta mejora se consigue con la utilización del horno de Siemens-Martin [14].

Dentro de las propiedades técnicas que presenta el hierro encontramos [15]:

- Elasticidad: Capacidad de un cuerpo de volver a su forma original después de ser sometido a un esfuerzo, siendo la máxima carga que puede soportar el Límite de elasticidad.
- Ductilidad: Propiedad que presenta un cuerpo para estirarse longitudinalmente hasta convertirse en alambre.
- Forjabilidad: Capacidad de sufrir deformaciones plásticas sin romperse.
- Maleabilidad: Capacidad de formar laminas muy finas, sin romperse.
- Tenacidad: Resistencia que opone a ser quebrado, desgarrado o doblado.
- Soldabilidad: Propiedad que permite la unión de dos piezas.
- Facilidad de corte: Facilidad de dividirse mediante la utilización de una herramienta.

1.4. TIPOS Y FORMAS

Los puentes metálicos han variado a lo largo de la historia no solo según su materialidad, sino que también según su forma o estructura. A continuación, se detallaran sus características:

- Puentes de arco
- Puentes de viga
- Puentes pórtico
- Puentes sustentados por cables
 - Puentes colgantes
 - Puentes atirantados

Se debe tener en cuenta que con la llegada del hierro forjado y a sus características recién se logró abarcar las tres tipologías de puentes conocidas hasta ese momento (Puentes de arco, de viga y sustentados), entendiéndose el puente pórtico como la combinación de dos tipologías. Antes de esto, los puentes confeccionados con hierro de fundición solo eran tipo arco, debido a que esta aleación no resistía lo suficiente a tracción. Actualmente la mayoría de estos puentes no existen o no pueden ser reparados [16].

1.4.1. Puentes de arco

Un puente arco es una estructura apoyada en los extremos de la luz, que trabaja transmitiendo los esfuerzos (peso propio de la estructura y sobrecargas de uso) hacia los apoyos mediante compresión. Debido a su forma pueden alcanzar grandes luces, de hasta más de 500 [m]. Para esto se debe tener en cuenta que la sección debe poseer el área suficiente para resistir las tensiones, además de inercia para darle rigidez y evitar los efectos del pandeo lateral, uno de los mayores problemas que se presentan acompañados de las grandes luces.

Este tipo de puente en cuanto al tipo de apoyo, pueden clasificarse en:

- Empotrado: Rígida y elástica.
- Articulados: Biarticulados y triarticulados.

Además, debido a que generalmente la plataforma no puede estar sobre el arco por su forma, existen tres maneras de posicionar el tablero:

- Puentes de tablero superior.
- Puentes de tablero intermedio.
- Puentes de tablero inferior.

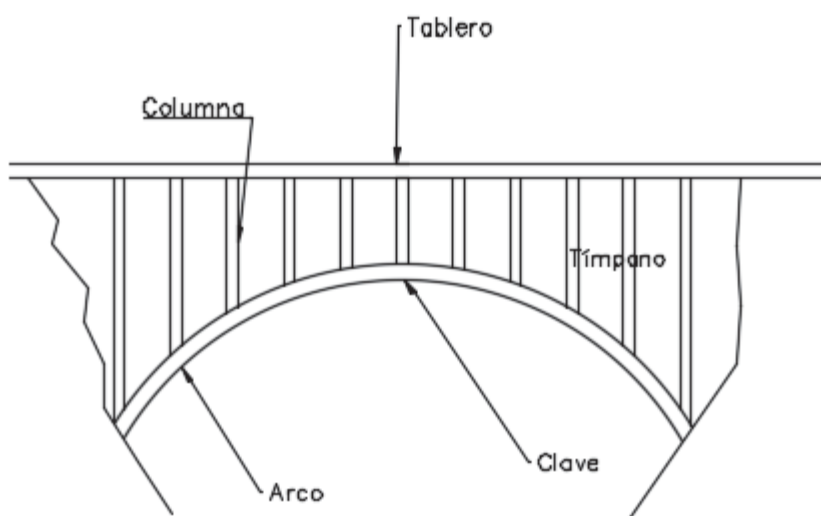


Figura 1. 3. Partes de un puente arco
Fuente. Elaboración propia

Los primeros puentes metálicos construidos en el mundo fueron de tipo arco, siendo sus primeros diseños muy semejante al de los puentes de piedra, aunque alcanzando mayores luces, como lo son los tímpanos con un entramado de piezas radiales, concéntricas al arco y el entramado circular para llenar el espacio que queda entre las barras circunferenciales y el tablero. Las uniones de este tipo de estructura en cambio imitaban a las de la madera. Los

más representativos (Coalbrookdale, Coalport, Sunderland, Buildwas y Craigelachie) estaban contruidos con hierro fundido (que también se llama fundición). A continuación, se recogen algunos ejemplos de puentes arco metálicos:

Tabla 1. 1. Puente de Coalbrookdale o Iron Bridge [17]

UBICACIÓN	Inglaterra Río Severn
AÑO	1776-1779
INGENIERO/ARQUITECTO	Thomas Farnolls Pritchard
LONGITUD	60 [m]
LUZ MAYOR	30[m]
CARACTERÍSTICAS	Cinco nervios semicirculares de fundición, cada uno formado por dos secciones de 21 [m] de longitud. Tímpanos aligerados mediante segmentos de arco, circunferencias y arcos conopiales Unión de las piezas metálicas mediante pernos Estribos de piedra
ACTUALIDAD	En 1934 fue cerrado al tráfico vehicular Es considerado Patrimonio de la Humanidad (UNESCO) Se habla del puente de Coalbrookdale en el documental “ <i>The Iron Bridge – How was it Built?</i> ” de la BBC.



Figura 1. 4. Puente de Coalbrookdale
Fuente. <http://www.puentemania.com/171>

Tabla 1. 2. Puente de Coalport [18]

UBICACIÓN	Inglaterra Río Severn
AÑO	1818
LUZ MAYOR	31[m]
CARACTERÍSTICAS	Cinco arcos de similar hechura a Coalbrookdale Unión con el tablero mediante montantes verticales y diagonales
ACTUALIDAD	En uso, sin embargo, con restricciones de carga



Figura 1. 5. Puente de Coalport
Fuente. Fernández Troyano (2004)

Tabla 1. 3. Puente de Sunderland [18]

UBICACIÓN	Inglaterra Río Wear
AÑO	1793-1796
INGENIERO/ARQUITECTO	Thomas Paine
LUZ MAYOR	71,9 [m]
CARACTERÍSTICAS	Seis arcos de anillos concéntricos formados por piezas ortogonales unidos mediante barras radiales y transversales Estribos de fábrica
ACTUALIDAD	Fue demolido

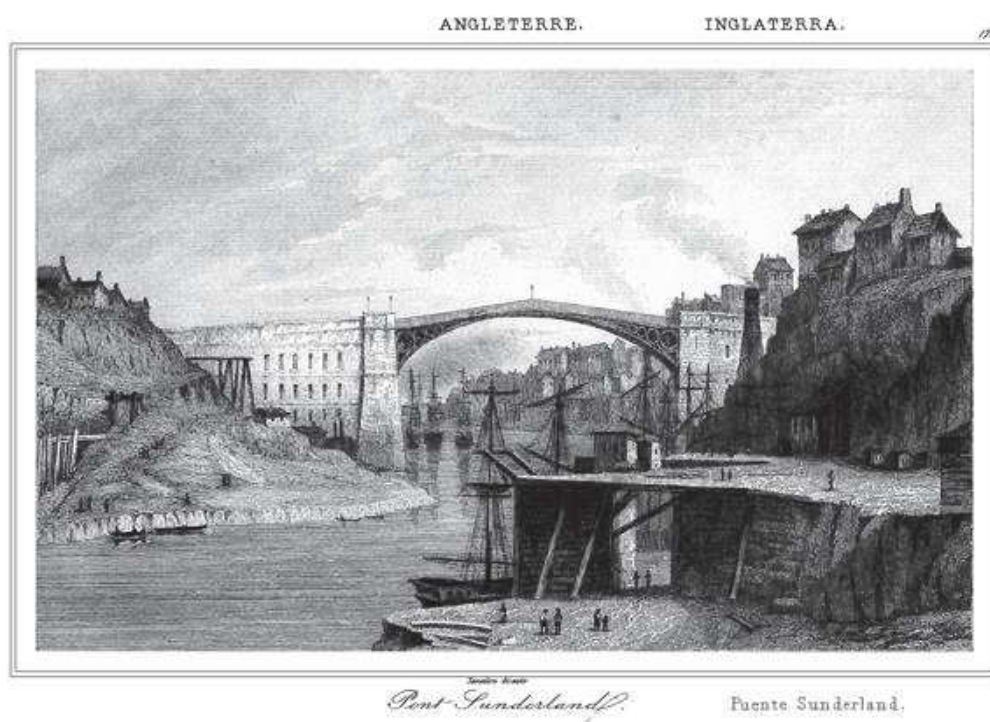


Figura 1. 6. Puente de Sunderland

Fuente. <http://www.grabadoantiguo.com/ficha.php?id=15752>

Tabla 1. 4. Puente de Buildwas [18]

UBICACIÓN	Inglaterra Río Severn
AÑO	1796
INGENIERO/ARQUITECTO	Thomas Telford
LUZ MAYOR	40 [m]
CARACTERÍSTICAS	Dos anillos metálicos cruzados, que se conectan en los arranques con triangulación con cruces de San Andrés, usando montantes verticales en la zona central
ACTUALIDAD	Fue demolido en 1906



Puente de Buildwas, Thomas Telford. 1796

Figura 1. 7. Puente de Buildwas
Fuente. ROP, 3560,2014

Tabla 1. 5. Puente de Craigellachie [18]

UBICACIÓN	Escocia Río Spev
AÑO	1815
INGENIERO/ARQUITECTO	Thomas Telford
LONGITUD	45 [m]
CARACTERÍSTICAS	El arco se une al tablero a través de una celosía abierta. Consiste en dos barras principales unidas por cruces de San Andrés y montantes
ACTUALIDAD	Fue reparado en 1963 y se sustituyeron las cruces de fundición por perfiles metálicos Actualmente se encuentra en uso



Figura 1. 8. Puente de Craigellachie
Fuente. <http://www.puentemania.com>

Como explica L. Fernández Troyano [19] estos puentes expresan el esquema general de los puentes arco metálicos antiguos: arcos formados por anillos paralelos, tablero formado por un entramado de vigas situando las principales sobre los anillos de los arcos, y montantes a base de barras principales arriostradas entre sí que son el apoyo de las vigas longitudinales sobre los anillos de los arcos.

Entre los hitos mundiales de puentes arco metálicos destacan las obras de Gustave Eiffel (1832 – 1923), un ingeniero civil francés que fundó y desarrolló una empresa especializada en carpintería metálica, diseñando varios puentes para la red de ferrocarriles. Una obra importante fue el Puente María Pía sobre el río Duero, en Portugal (1877) y el viaducto de Garabit, en Francia (1886), ambos de estructura metálica.

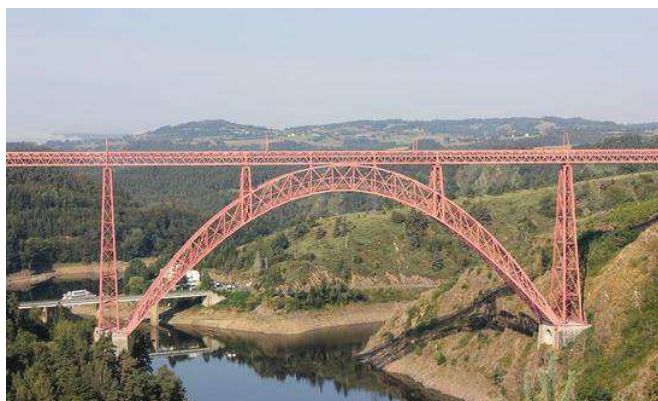


Figura 1. 9. Viaducto de Garabit
Fuente. <https://www.tripadvisor.es/>

Eiffel realizó grandes aportes sobre las cimentaciones con aire comprimido y sobre los efectos del viento en estructuras metálicas.

James Buchanan Eads (1820 - 1887) fue otro gran ingeniero e inventor estadounidense que diseñó y construyó el Puente de St. Louis sobre el río Mississippi, el cual tuvo una gran importancia para la época, debido a que fue la primera vez que se utilizó de forma masiva de acero para la construcción de puentes, además de ser el puente de arco más largo del mundo al momento de construirse. Además, este puente fue pionero en el empleo exclusivo del sistema de vigas en voladizo (cantiléver) y uno de los primeros en hacer uso de pozos de cimentación.

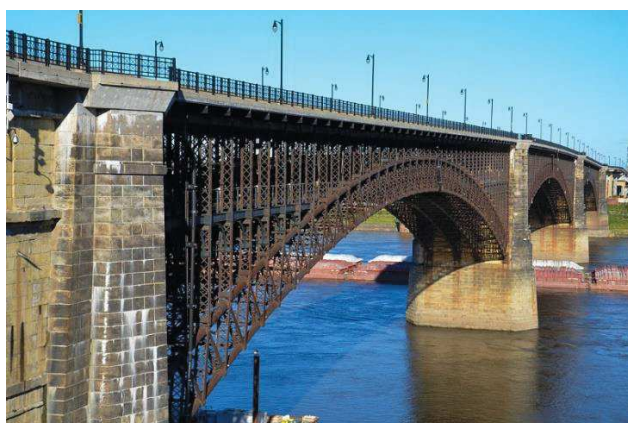


Figura 1. 10. Puente de St. Louis
Fuente. <https://es.wikipedia.org/>

1.4.2. Puentes de viga

El puente viga corresponde a un tipo de estructura formado por una viga lineal que transmite los esfuerzos a los apoyos mediante flexión y debe su resistencia a su canto y al momento de inercia de su sección. Pueden estar simplemente apoyadas en sus extremos, o bien ser vigas continuas, es decir, apoyadas en varios puntos.

Cuando se introdujo la técnica del pudelado se pudo obtener un hierro con el que se podían hacer vigas rectas, ya que era aceptable para trabajar a flexión, pero para luces más bien pequeñas.

En la primera mitad del siglo XIX sucedió un gran desarrollo de modelos de vigas de hierro forjado, que aprovechó el gran impulso proporcionado por la construcción de vías ferroviarias. Los puentes que necesitó el tren para dar continuidad a la plataforma ferroviaria, sometidos a fatiga e impactos, fueron los impulsores a la vez que grandes beneficiados del nuevo material.

Durante el año 1857, este tipo de estructura fueron clasificados según las publicaciones inglesas de la forma que se muestra a continuación:

- Tubulares.
- Laminares.
- Enrejados.
- Celosía.

Una de las clasificaciones más importantes fue la del puente de celosía, los cuales fueron desarrollados durante el siglo XIX en Estados Unidos, comenzando a ser utilizadas en los puentes de madera. Este tipo de estructura fue integrada en todas las tipologías de puentes ya existentes. Su importancia y ventaja radica en que, debido a la triangulación, las barras son solicitadas solo a tracción y compresión, y no a otros esfuerzos como el flector y cortante, además en cuanto a su construcción, las estructuras que adoptan celosía son más ligeras y fáciles de construir.

Fueron varios los tipos de celosía usadas y patentadas, a continuación, se nombrarán algunas de ellas [20]:

- Town (1820). Fue la primera celosía patentada en Estados Unidos y era inicialmente de madera. Constaba de dos largueros horizontales unidos por otros inclinados 45° en los dos sentidos.
- Howe (1840). Corresponde a una celosía abierta mixta, con montantes de hierro forjado que trabajan a tracción y diagonales de madera que trabajan a compresión.
- Whipple (1841). Consiste en una celosía con cordón superior curvo de arco y cordón inferior recto, llamado bow-string, mezclando las tipologías de arco y viga.

- Pratt (1844). Corresponde a la viga Howe invertida, se emplean montantes verticales de madera que trabajan a compresión y diagonales de hierro forjado que trabajan a tracción. Este tipo de estructura resulta más eficiente debido a que los elementos más cortos (montantes verticales) son los que trabajan a compresión, reduciendo así la longitud de pandeo del elemento.
- Whipple (1847). Es una celosía similar a la Pratt, con la diferencia de que los montantes verticales eran de hierro de fundición y los diagonales de hierro forjado, los cuales además eran dobles en la parte central.
- Warren (1848). Consiste en una celosía de diagonales simétricas que trabajan alternando los esfuerzos de compresión y tracción. Constaba de seis diseños, teniendo solo uno de ellos todas las piezas del entramado formadas a base de hierro forjado, en todos los demás tanto el cordón superior como las diagonales eran de fundición. Es característico de la viga Warren cómo se unían los elementos horizontales con las diagonales, formando triángulos en general equiláteros, aunque hubo variaciones en los modelos. Con esta viga se alcanzó la máxima eficiencia en cuanto a la simplicidad de la estructura.

Al llegar la celosía a Europa, se fueron reemplazando los elementos por hierro, hasta que finalmente fueron completamente metálicas, siendo un ejemplo de esto la viga Warren. Después de esto se patentaron otros modelos, pero eran más complejos, como se muestran a continuación.

- Bollman (1851). Este tipo de celosía estaba formada por barras comprimidas de hierro fundido y barras traccionadas de hierro forjado.
- Fink (1854). Consiste en una celosía de múltiples barras diagonales en diferentes ángulos que van desde la parte superior a la parte inferior de las barras verticales.
- Haupt (1854). Viga en celosía que mezcla la celosía Pratt con un arco bow-string.
- Linville (1877). Está formada por dos celosías Pratt superpuestas.

El primer puente viga metálico fue construido por Thomas Telford en 1796, y fue para el paso del acueducto Longdon Upon Tern. Este ingeniero civil y arquitecto escocés (1757-1834) estuvo encargado del diseño de aproximadamente 30 puentes y acueductos, siendo uno de los primeros en utilizar el acero como material de construcción de este tipo de estructuras, desarrollando nuevos métodos de construcción, como la utilización de planchas de acero y el sellado de uniones utilizando plomo fundido, como es el caso del acueducto Pontcysyllte sobre el río Dee en 1818. También fue pionero en la realización de ensayos a los materiales.

Tabla 1. 6. Acueducto Longdon Upon Tern [18]

UBICACIÓN	Shropshire. Inglaterra Canal de Shrewsbury
AÑO	1796
INGENIERO	Thomas Telford
LONGITUD	56 [m]
CARACTERÍSTICAS	Viga de alma llena con chapas en forma de dovelas
ACTUALIDAD	Se encuentra fuera de uso



Figura 1. 11. Acueducto Longdon Upon Tern
Fuente. <http://www.puentemania.com>

Tabla 1. 7. Acueducto Pontcysyllte [18]

UBICACIÓN	Gales Río Dee
AÑO	1805
INGENIERO	Thomas Telford
LONGITUD	307 [m]
LUZ MAYOR	13,7 [m]
CARACTERÍSTICAS	Canal de hierro apoyado mediante pilas de mampostería
ACTUALIDAD	En uso

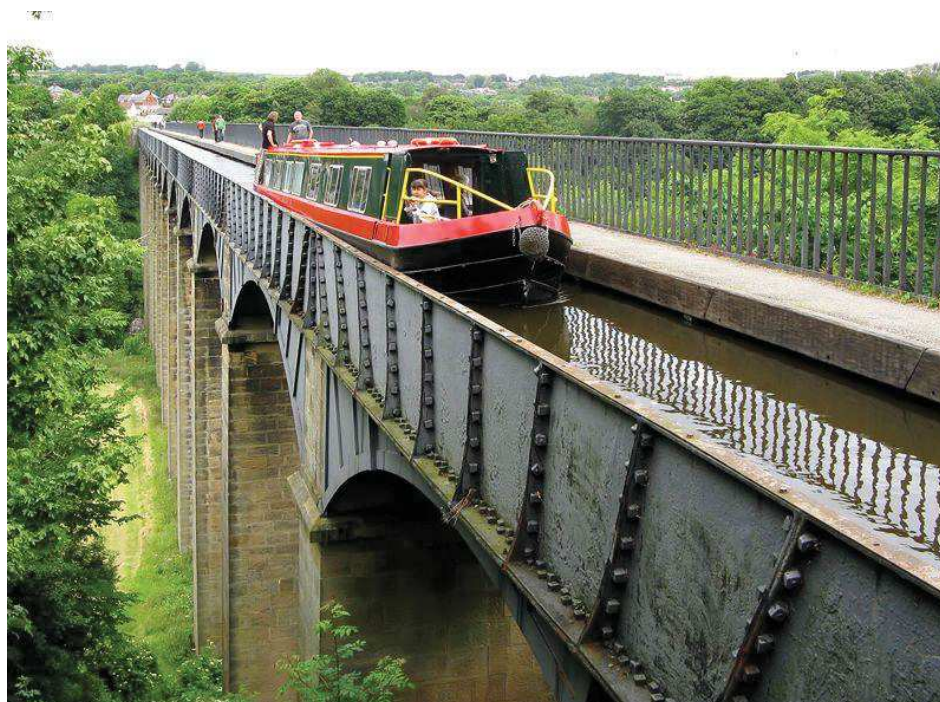


Figura 1. 12. Acueducto Pontcysyllte

Fuente: http://antonioheras.com/patrimonio_humanidad/europa/index1330.htm

Otro tipo de cierto éxito fueron las vigas tubulares, que se desarrollaron desde la mitad del siglo XIX. Se usaron mucho para luces pequeñas, empelando dos vigas huecas que podían disponer el tablero exterior, superior o inferior. Pero el gran exponente de este modelo fue el puente Britannia.

Tabla 1. 8. Puente Britannia [17]

UBICACIÓN	Gales Estrecho de Menai
AÑO	1850
INGENIERO	Robert Stephenson y William Fairbairn
LONGITUD	461 [m]
LUZ MAYOR	146 [m]
CARACTERÍSTICAS	Vigas tubulares
ACTUALIDAD	En 1970 fue reemplazado por un puente de acero tipo arco



Figura 1. 13. Puente Britannia

Fuente. <http://www.universolamaga.com/evolucion-de-los-puentes-fundicion/>

1.4.3. Puentes pórtico

Este tipo de estructura consiste en la mezcla de un puente arco y uno viga, ya que resiste tanto a compresión como a flexión, mediante el trabajo solidario de las pilas y el tablero.

Su estructura es semejante a la de los puentes arcos, pudiendo ser biempotrado, biarticulado o triarticulado.

En su inicio, este tipo de estructura se realizó con estructuras triangulada metálicas, usando a actualmente vigas de alma llena ya sean metálicas o de hormigón.

Tabla 1. 9. Viaducto Sfalassa [17]

UBICACIÓN	Italia Cruzando la cordillera de los Apeninos de Lucania y Calabria
AÑO	1973
INGENIEROS	Silvano Zorzi, Lucio Lonardo y Sabatino Procaccia
LUZ MAYOR	360 [m]
CARACTERÍSTICAS	Puntales metálicos de viga de caja inclinados en un ángulo aproximado de 50° Es considerado el puente pórtico con el vano más largo y uno de los más altos
ACTUALIDAD	Actualmente se encuentra en uso, después de ser ensanchado en 2009 y 2010



Figura 1. 14. Viaducto Sfalassa

Fuente. http://www.highestbridges.com/wiki/index.php?title=Sfalassa_Bridge

1.4.4. Puentes sustentados

Los puentes sustentados son aquellos que son soportados mediante cables y se clasifican en puentes colgantes y atirantados.

- **Puente colgante.** El puente colgante funciona al contrario que el puente arco, ya que, en vez de transmitir los esfuerzos mediante compresión, lo hace a traccionando los cables. Su plataforma va colgada debajo de los cables mediante tirantes verticales y tiene como principal ventaja su ligereza, aunque trae consigo el gran problema de vibraciones provocado por el viento.

Este tipo de estructura se solían hacer con cuerdas de materiales naturales hace bastantes siglos atrás, pero fueron perfeccionados con la llegada de los materiales derivados del hierro, construyéndose en un inicio puentes colgantes de cadena de hierro en países como China e Inglaterra.

Los puentes colgantes metálicos tuvieron su inicio al comienzo del siglo XIX en Estados Unidos, para llegar a Europa el segundo cuarto de siglo, pero con algunas dificultades, por lo que su uso no fue muy extendido en el tiempo.

Tabla 1. 10. Jacob's Creek Bridge [21]

UBICACIÓN	Pennsylvania, Estados Unidos
AÑO	1801
INGENIERO	James Finley
LUZ MAYOR	21 [m]
CARACTERÍSTICAS	Cadenas de hierro forjado
ACTUALIDAD	En 1833 fue reemplazado por un puente de madera

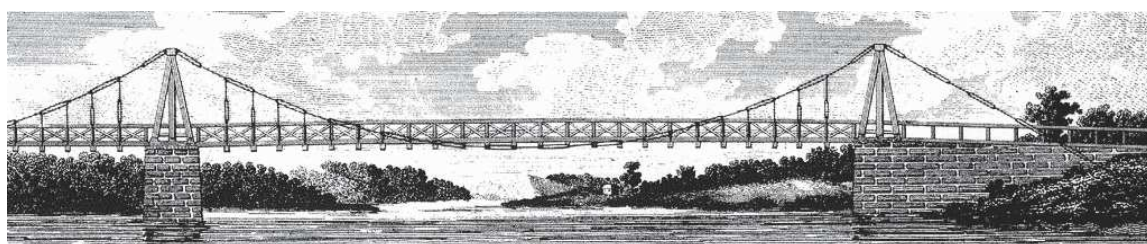


Figura 1. 15. Jacob's Creek Bridge

Fuente: https://www.wpclipart.com/Jacobs_Creek_suspension_bridge_1801.png.html

- **Puente atirantado.** Un puente atirantado, corresponde a una estructura que tiene su tablero suspendido mediante cables o tirantes sujetos al mástil, trabajando los tirantes a tracción, mientras que el tablero y el mástil a compresión, siendo esta la principal diferencia con los puentes colgantes, debido a que ese tipo de estructura trabaja principalmente a tracción.

Tabla 1. 11. Puente de Strömsund [17]

UBICACIÓN	Suecia
AÑO	1955
INGENIERO	Franz Dischinger
LONGITUD	332 [m]
LUZ MAYOR	183 [m]
CARACTERÍSTICAS	Cubierta, cables y pilones de acero sobre pilas de hormigón armado Considerado el primer puente atirantado de acero
ACTUALIDAD	Se encuentra en uso



Figura 1. 16. Puente de Strömsund

Fuente. <https://structurae.net/en/structures/stromsund-bridge>

2. LOS PUENTES MÉTALICOS DEL SIGLO XIX EN ESPAÑA

2. LOS PUENTES METÁLICOS DEL SIGLO XIX EN ESPAÑA

2.1. PANORAMA GENERAL

El uso de las diferentes tipologías de puentes metálicos llegó a España con un cierto retraso, en comparación a los países más prósperos de Europa, la razón parece estar, según indican los historiadores que han trabajado este tema, en que la industrialización fue tardía e incompleta, comenzando lentamente al final del siglo XIX y concluyendo a mediados del siglo XX. Entre las razones de este fracaso están los escasos recursos productivos en mano de obra, capital y tecnología y también la inestabilidad política de esa época.

En el caso español, fue el ingeniero Eduardo Saavedra (1829-1912) uno de los principales impulsores del conocimiento técnico del hierro. En el año 1861 escribió para la *Revista de Obras Públicas*, refiriéndose a los puentes de hierro que este material había llegado para ser “...el más poderoso elemento de progreso para todas las industrias y el arte de la construcción ... nos induce a pensar en los indefinidos adelantos de la civilización en el más alto sentido”.

2.2. CARRETERAS Y FERROCARRIL, REVULSIVO PARA NUEVOS PUENTES

A lo largo del siglo XIX España construyó lo fundamental de su red caminera viaria y ferroviaria, y en esa transformación del territorio tuvieron un gran peso los ingenieros de caminos. Al comenzar el siglo XIX los caminos carreteros que existían eran pocos y deficientes, pero durante la mitad del siglo comenzaron a dictarse reglas para la formación de un plan nacional de carreteras, además se promulgaron ordenanzas de policía y conservación, se habilitaron créditos para obtener recursos económicos y paulatinamente se fue organizando un servicio de caminos, hasta culminar con la Ley de Carreteras de 1851, la primera que clasificó los caminos según los lugares comunicados. Los criterios para ejecutarlas buscaban conseguir la ruta más corta prestando servicio a un buen número de poblaciones y economizar en los trazados que debían ser aptos para carruajes.

Las carreteras principales, que eran las carreteras generales y transversales, tenían hasta esa fecha 8.000 [km] construidos, pero desde la entrada en vigor de la ley y hasta el final del siglo se construyeron más de 60.000 [km] de nuevos caminos carreteros distribuidos de modo que todas las capitales de provincia contaban con un acceso, siendo utilizados los puentes de hierro para los pasos difíciles.

Por otro lado, la llegada del ferrocarril transformó radicalmente el panorama de las comunicaciones en España y también favoreció grandes cambios en otros ámbitos, por

ejemplo, en el de la construcción de obra pública, que experimentó un vuelco ante las desconocidas exigencias técnicas y las nuevas construcciones –estaciones, grandes puentes metálicos- contribuyeron a crear una imagen de progreso y modernidad tecnológica.

Debido a las limitaciones que presentaba el ferrocarril, como que al rebasar las pendientes de 20 milésimas las ruedas tractoras pierden adherencia y con ello capacidad de remolque, sumado a la abrupta orografía española y la configuración que se dio a la red –Ley General de Ferrocarriles de 1855- obligó a realizar grandes desmontes de tierras, perforar túneles y tender largos puentes y viaductos. Hasta su llegada se procuraba que los pasos fuesen cortos y perpendiculares al obstáculo a salvar, pero el tren obligó al esviaje y a longitudes de paso mayores. Los primeros puentes fueron de madera – vigas -, pero este material tenía grandes desventajas porque era vulnerable a la crecida de los ríos, al fuego y poco resistente para soportar cargas dinámicas, siendo sustituidos puentes y viaductos de fábrica hechos a base de bóvedas, teniendo esta estructura un diseño, ejecución y forma de resistir según la técnica de la época, y por lo tanto fueron sobredimensionados, lo que ha permitido un longevo uso.

En España el modelo más utilizado para los puentes ferroviarios fue la celosía múltiple, basada en la viga Town y compuesta por dos cabezas de sección en T unidas entre sí por barras diagonales cruzadas en dos direcciones, formando un enrejado. Las barras se ensamblaban mediante roblones y se unían a las cabezas con angulares longitudinales, siendo acompañados de montantes verticales para mejorar su rigidez lateral.

La razón de su amplia difusión radica en su moderado coste y en que eran relativamente fáciles de calcular, también eran ligeros, con un peso propio muy pequeño en relación a las sobrecargas que soportaban y con un montaje relativamente sencillo, como se aprecia en la figura del Puente del Cea recogida en la Revista de Obras Públicas, en donde se observa el sistema denominado corrimiento, el que consistía en que las vigas se colocaban en su ubicación deslizándose longitudinalmente sobre los apoyos, en cuyas cabezas se instalaban cojinetes.

La Revista de Obras Públicas recopiló durante muchos años noticias sobre los puentes metálicos ferroviarios en el mundo y en España, como patentes de vigas, diseño, cálculo, construcción, montaje, accidentes, etc. lo que la convierte en una buena fuente documental para el estudio de estas estructuras.

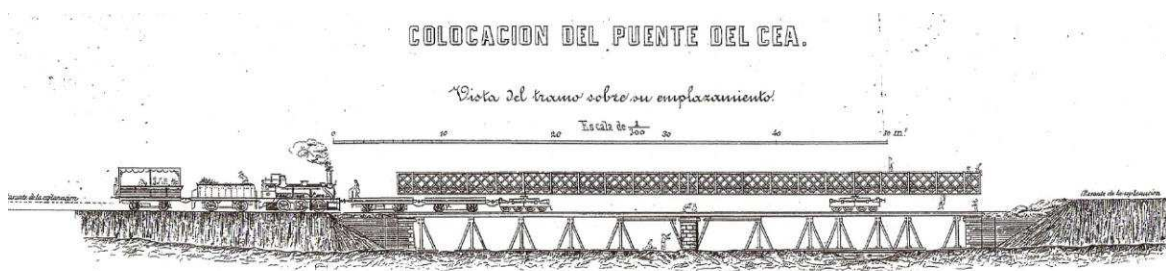


Figura 2. 1. Colocación del puente del Cea
Fuente. Revista de Obras Públicas, 1863, p170-171

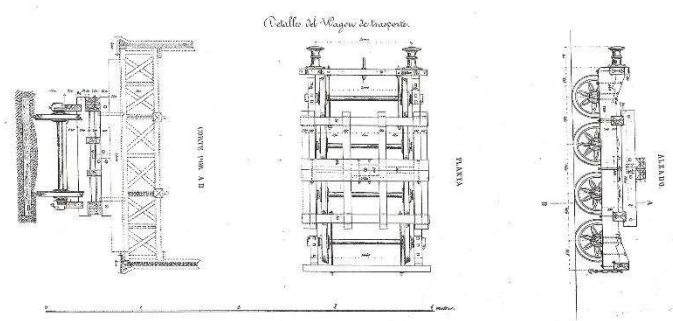


Figura 2. 2. Colocación del puente del Cea
Fuente. Revista de Obras Públicas, 1863, p170-171

2.3. TIPOS DE PUENTES METÁLICOS EN ESPAÑA

Se debe tener en cuenta que no todas las tipologías de puentes fueron desarrolladas de la misma forma, siendo la menos utilizada los puentes tipo arco. Al contrario, los puentes viga fueron muy usados en la construcción de las vías para los ferrocarriles, mientras que los puentes colgantes, en carreteras, aunque actualmente ya casi no se conservan.

2.3.1. Puentes arco

Algunos de los pocos ejemplos de este tipo de puentes es el puente Isabel II, el cual se encuentra ubicado sobre el Río Nervión, en Bilbao. Esta estructura es considerada como el primer puente arco de función que se realizó en el país y fue inaugurado de 1847 por el ingeniero Pedro Celestino Espinosa.

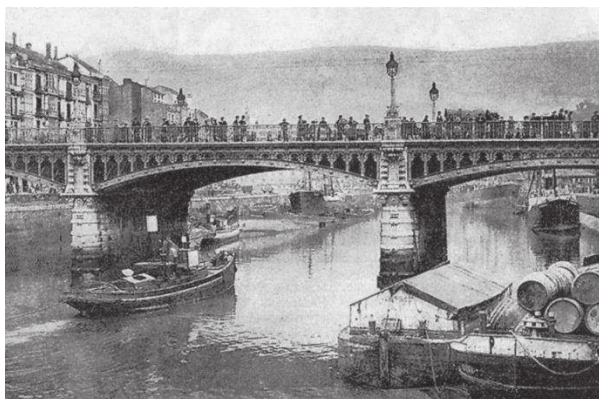


Figura 2. 3. Puente Isabel II

Fuente. <http://ondaregia.com/puente-de-isabel-ii-bilbao-hace-170-anos/>

Otro arco metálico de interés por su antigüedad y diseño fue el conocido como Puente de La Barca (Pontevedra), el cual fue proyectado en 1894 por Luis Acosta y consistía en un arco biarticulado de hierro forjado de 72 [m] de luz, de sección rectangular y caras de celosía. La sección estaba formada por dos vigas en T con el ala común unidas por un enrejado de barras verticales e inclinadas. Fue el primer arco metálico de gran luz proyectado en España, pero no se llegó a construir, al igual que sucedió con otro proyectado para Alcoy (Alicante) por Próspero Lafarga, antes de acabar el siglo XX, correspondiente a un gran arco metálico de 100 [m] de luz.

Uno que si llegó a construirse fue el Viaducto del Pino, construido por Eugenio Ribera en 1914, aunque proyectado en el último quinquenio del siglo anterior, superó los 100 [m] de luz, sirviéndole de apoyo de cierta forma los proyectos anteriores. En la Revista de Obras Públicas (www.ropdigital.ciccp.es) pueden leerse interesantes reseñas sobre el largo trámite para la construcción de este arco metálico.

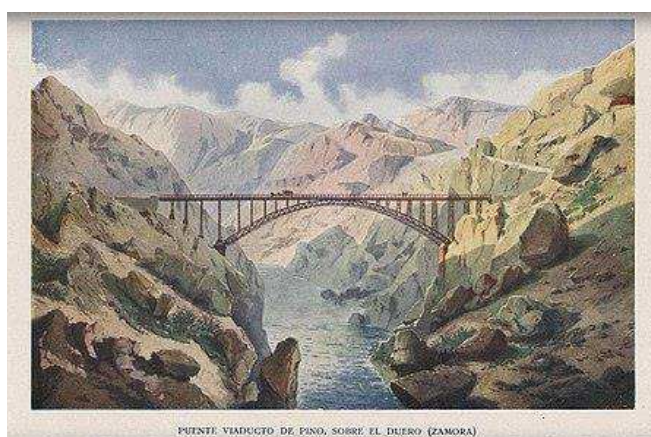


Figura 2. 4. Puente de Pino, sobre El Duero (Zamora)

Fuente. www.ropdigital.ciccp.es

La siguiente tabla relaciona los puentes arco españoles proyectados y/o construidos con otros europeos, antes de comenzar el siglo XX.

Tabla 2. 1. Ejemplos puentes arco en Europa [22]

PUENTE	MARIA PIA	GARABIT	SCHUARZTWASSER	LUIS I	PALERMO
PAIS	Portugal	Francia	Suiza	Portugal	Italia
CRONOLOGÍA	1877	1885	1882	1885	1887
LUZ (m)	160	165	114	172	150
FLECHA (m)	42	57	22	45	38
USO	Ferrocarril	Ferrocarril	Ferrocarril y carretera	Carretera	Carretera

Tabla 2. 2. Ejemplos puentes arco en España [22]

PUENTE	ZUERA	CINCA	BARCA	PINO
CRONOLOGÍA	1861	1865	1894	1895
LUZ (m)	52	70	72	120
FLECHA (m)	4	7	7	24
USO	Carretera	Carretera	Carretera	Carretera

2.3.2. Puentes de viga

Como se dijo anteriormente, este tipo de puente fueron muy utilizados en España durante el siglo XIX, como puentes ferroviarios, siendo un ejemplo de esto los viaductos de Ormaiztegui, de Tuy o el de Redondela.

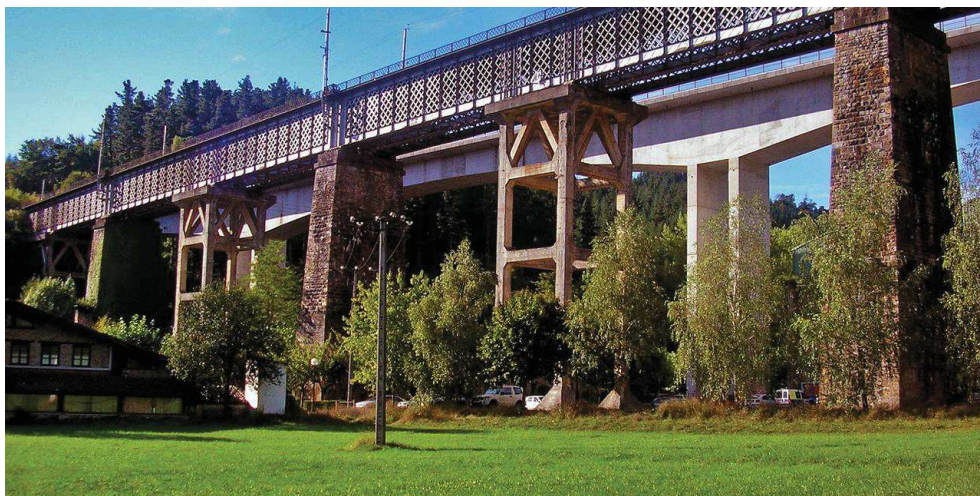


Figura 2. 5. Viaducto de Ormaiztegui

Fuente. <https://www.guiarepsol.com/es/fichas/monumento/viaducto-de-ormaitzegi-20478/>

Al comienzo en España se construyeron puentes viga de alma llena o de celosía, teniendo estos últimos enrejados muy tupidos, como es el caso del puente de Calasparra sobre el río Mudo (1893). Este tipo de estructura se comenzó a hacer menos tupida utilizando perfiles a finales del siglo XIX, para finalmente dar paso a los puentes de viga triangulares (puente viga enrejado), con vigas tipo Linville.

En 1850 se construyó el primer puente viga metálico de España, el puente ferroviario sobre el río Besós, perteneciente a la línea Barcelona – Mataró, el cual corresponde a un puente viga en celosía.

Los puentes de alma llena eran utilizados cuando no se requerían grandes luces tanto para carretera como para ferrocarriles.

En la actualidad, muchos de los puentes viga construidos durante el siglo XIX han sido sustituidos debido a que los ferrocarriles comenzaron a requerir mayor resistencia, aunque aún hay algunos que se conservan pero que requieren ser rehabilitados para que no alcancen un deterioro irreversible.

La siguiente tabla recoge las grandes celosías proyectadas y/o construidas en España durante el siglo XIX.

Tabla 2. 3. Ejemplos puentes viga en España [22]

PUENTE	CRONOLOGÍA	TRAMOS	LUZ MÁXIMA (m)	USO
FUENTIDUEÑA	1865	2	31.6	Carretera
ORMAIZTEGUI	1863	5	60.5	Ferrocarril
GUADALHORCE	1867	3	37	Carretera
MIÑO	1869	3	45	Ferrocarril
ALCONETAR	1880	8	48.5	Ferrocarril
GUADAHORTUNA	1880	8	60	Ferrocarril
RIBADESELLA	1886	2	20	Carretera
ALFONSO XII	1888	3	50	Carretera
GUADAJOZ	1893	3	67	Ferrocarril
MARTIN	1894	3	47.5	Ferrocarril
ALCOY	1897	4	44	Carretera y ferrocarril
VIBORAS	1893	3	77	Ferrocarril

2.3.3. Puentes Bow String

En la segunda mitad del siglo XIX se produjo un gran desarrollo de patentes de vigas trianguladas, a causa de la demanda que generó la construcción de vías ferroviarias, y también por el progresivo abandono de los colgantes, que habían sido una solución frecuente. En 1841 Squire Whipple patentó una viga registrada como *Iron Bowstring Bridge*, que procede de los vocablos “*bow and string*”, arco y cuerda, y se caracteriza porque el arco trabaja a compresión y la cuerda a tensión.

En 1849 R. Stephenson construyó un puente en Newcastle formado por seis tramos bow string de 38 [m] de luz, de uso mixto para carretera y ferrocarril. Esta tipología llegó pronto a España y se hizo muy popular, convirtiéndose en una de las más comunes para puentes metálicos de carretera desde finales del siglo XIX. Los ingenieros españoles de esos años se referían a ella

como de vigas parabólicas, y la consideraban una variante de la viga Pratt con el cordón superior curvo y también una derivación de la viga recta de tramos independientes, compitiendo en economía con los de alma llena y celosía a partir de los 40 [m] de luz. Se construían de tramos iguales, con una altura máxima de la viga parabólica entre $1/7$ y $1/8$ de la luz. Algunos ingenieros, como Pablo Alzola, rechazaron estéticamente esta tipología, y las discusiones sobre sus ventajas e inconvenientes pueden seguirse en las *Actas de la Comisión de Puentes de Hierro* y también en la *Revista de Obras Públicas*.

El primer puente de estas características construido en España fue el de Prado (Valladolid), inaugurado en 1865. El ingeniero español Joaquín Pano fue el gran defensor de esta tipología, que la prefería frente a la celosía porque a igualdad de luz el bow string incrementaba sustancialmente el peso propio. Construyó varios puentes en Aragón.

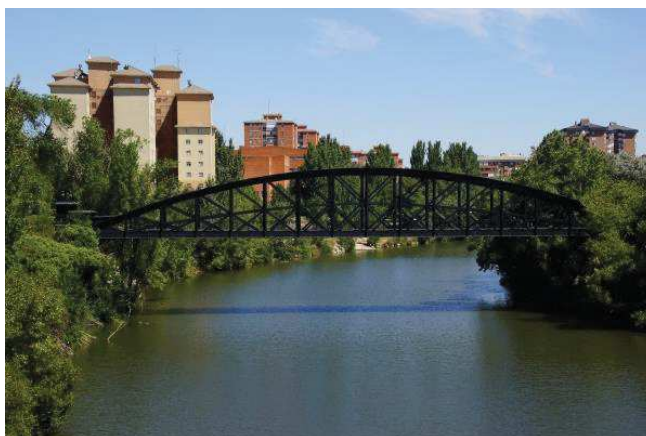


Figura 2. 6. Puente de Prado

Fuente. <https://structurae.net/structures/puente-colgante-de-valladolid>

En Cantabria se localiza un puente de esta familia, el Puente de Treto (1905), que salva la desembocadura del río Asón y da continuidad a la carretera N-634 que discurre en paralelo a la costa cantábrica.



Figura 2. 7. Vista general puente de Treto

Fuente. Ruiz Bedia (2018)

El puente tiene una longitud total de casi 162 [m] y una anchura de 7 [m]. Está formado por dos tramos metálicos principales cuyos alzados laterales contienen un arco, el tablero inferior, los montantes verticales que suspenden al tablero del arco y un sistema de diagonales de triangulación. Los arcos se arriostran entre si mediante celosías verticales colocadas transversalmente limitando el gálibo vertical. En la sección transversal destacan los elementos resistentes del forjado, formados por chapas abovedadas apoyadas sobre los largueros. De todo el sistema estructural, el 92,16% lo forman elementos de hierro forjado o pудelado.

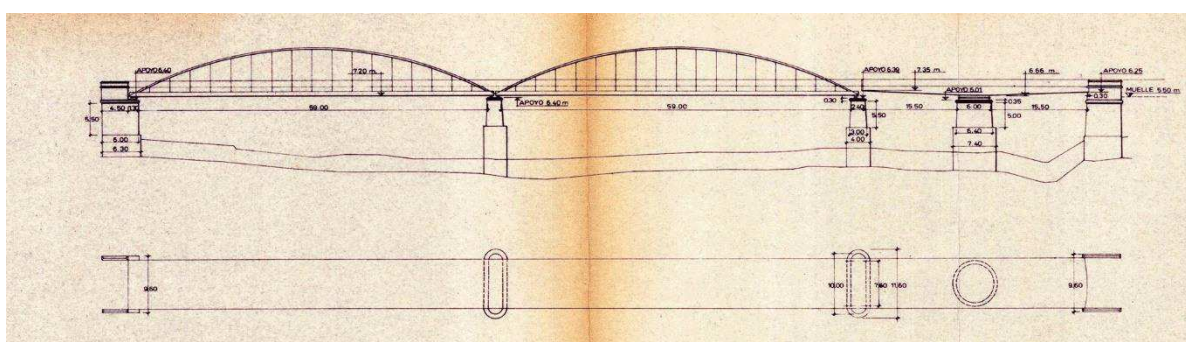


Figura 2. 8. Vista en planta y alzado puente de Treto
Fuente. Ruiz Bedia (2018)

La subestructura está formada por estribos y pilas de fábrica de sillería, dos de planta ovalada y una tercera circular sobre la que se apoya por su punto medio el tablero del tercer tramo, diferente de los anteriores, formado por dos vigas principales de alma llena, diez viguetas transversales y 8 largueros, todos estos elementos con sección en doble T. Esta parte iba dispuesta de modo que, originalmente y hasta el año 1940, podía girar sobre la corona dentada alojada en la pila circular y situarse perpendicular a la carretera, permitiendo de este modo el paso de embarcaciones.

2.3.4. Puentes colgantes

Como se habló anteriormente, este tipo de estructuras trajo consigo algunos problemas al llegar a Europa, siendo este el caso de España, donde hubo varios desastres, como el Puente de Fraga, el cual cedió en 1852. Algunos problemas de este tipo de estructura fueron el hundimiento, fallo en los cables por corrosión debido a la oxidación, descalce de cimentación, entre otros problemas.

La estructura resistente de estos puentes colgantes, o “colgados” como se les llamó en España en el siglo XIX, está formada por unos cables principales fijados en los extremos del vano a salvar, elevados sobre torres para conseguir la flecha requerida, y unas péndolas de las que cuelga el tablero.

En la mitad del siglo XIX se construyeron en España muchos puentes colgantes para carretera, que han ido desapareciendo. Así sucedió con el puente de Lascellas, construido entre 1856 y 1860 sobre el río Alcanadre (Huesca), siendo su proyectista Mariano Royo, que propuso un original puente de 94 [m] de longitud de los cuales los 50 [m] centrales se apoyaban sobre los cables en vez de colgar de ellos. Con ello el ingeniero buscó aumentar la rigidez del conjunto y reducir las oscilaciones, minimizando así muchos de los inconvenientes propios de los puentes colgantes. Los cables estaban formados por hilos paralelos de alambre telegráfico, tenían 180 [m] de desarrollo y 23 [cm] de diámetro y el piso estaba sostenido por viguetas transversales de madera, el cual fue sustituido durante 1888 por el ingeniero Joaquín Pano por un tablero metálico, consiguiendo de esta forma que la estructura ganase estabilidad, rigidez y un mejor aspecto. Finalmente, durante la guerra civil española de 1936 fue destruido.



Figura 2. 9. Puente de Lascellas

Fuente. <http://caminosdebarbastro.blogspot.com/2012/04/carretera-de-huesca.html>

Un tipo particular de puente es el Puente de Vizcaya en Bilbao (1893), el cual es reconocido como el primer puente trasbordador del mundo, con 164 [m] de luz, aunque popularmente es conocido como “puente colgante”. Esta estructura es una brillante solución a un problema funcional ideada por el arquitecto Alberto de Palacio, discípulo de G. Eiffel. El puente consta de cuatro torres metálicas arriostradas con cables de acero y enlazadas dos a dos, con una altura total de 51 [m]. El tablero estaba originalmente constituido por una viga en cruz de San Andrés de 2 [m] de canto y 165 [m] de longitud, alcanzando una altura libre sobre el muelle de 43 [m]. Horizontalmente la viga quedaba arriostrada mediante otra celosía de 7,60 [m] de canto con montantes en el cruce de las diagonales. El sistema de suspensión constaba de cuatro cables parabólicos por cabeza. Al ser una viga muy esbelta y ante la posible debilidad del tablero frente a vientos fuertes se dispusieron ocho obenques por cabeza para darle rigidez vertical. En la parte central la viga se sustentaba mediante 94 péndolas verticales. El conjunto quedaba anclado a gruesos macizos pétreos ubicados en las márgenes del río. En 1939 fue

reconstruido, tras ser volado en 1937, por el ingeniero J.J Aracil. Esta reparación afectó esencialmente al sistema de suspensión, a base de péndolas exclusivamente, lo que redujo la rigidez de la viga y aumentó su inercia: a causa de ello el canto aumentó en 1 [m], además se cambió el tipo de viga, disponiendo una Warren de malla ancha. En el año 2006 el comité de Patrimonio Mundial de la UNESCO aprobó su declaración como Patrimonio de la Humanidad, y es la primera obra pública moderna que en España alcanza esta alta protección.



Figura 2. 10. Puente de Vizcaya

Fuente. <https://whc.unesco.org/es/list/1217>

2.4. FICHAS PUENTES METÁLICOS DE ESPAÑA DEL SIGLO XIX

Como se habló anteriormente durante el siglo XIX los puentes metálicos en España al igual que otros de países fueron muy utilizados, debido a las grandes ventajas que representaron para la época, por lo que para ejemplificar y poder estudiar más a fondo sus características se seleccionaron una serie de puentes metálicos construidos en España, abarcando las diferentes tipologías y función ya descritas, que fueron proyectados y/o construidos durante el siglo XIX, siendo por lo tanto los puentes metálicos más antiguos que existen en España. Se llegó a una cantidad de 19 puentes, los cuales son los comúnmente citados tanto en las referencias científicas como en otra información de carácter divulgativo y para cada uno de ellos se ha recopilado la siguiente información:

- Localización geográfica, apoyada en la cartografía entregada por el Instituto Geográfico Nacional y el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
- Tipología y dimensiones principales
- Estado de conservación y uso
- Datos cronológicos más relevantes
- Fotografías antiguas y actuales

Con esta información a forma de resumen la siguiente tabla pone en relación la fecha en que se construyó cada puente y su estado actual, así como las intervenciones que han experimentado.

Tabla 2. 4. Ejemplos puentes metálicos de España del siglo XIX

Puente / Viaducto	Año de construcción	Reparaciones	Estado actual
De la Alameda de Osuna	1830		Prohibido su uso
Isabel II	1845-1847	Se sustituyeron tres arcos por tramos de madera	Sustituido por un puente de piedra
Triana	1845-1852	Consolidación de las pilas y estribos Sustitución tablero y ampliación de la plataforma Sustitución del tablero por uno autoportante y refuerzo de pilas, estribos y cimentación	Se encuentra en funcionamiento Declarado Bien de Interés Cultural
Príncipe Alfonso	1859-1863	Reparación completa de la estructura	En funcionamiento
Ormaiztegui	1863	Reparado después de las guerras	Uso peatonal En proceso de ser declarado Bien de Interés Cultural
Colgante de Valladolid	1864-1865	Reparación de la acera Refuerzo de vigas del tablero Sustitución la acera y tratamiento anticorrosivo Repintado	En funcionamiento, con tránsito de vehículos limitado En proceso de ser declarado Bien de Interés Cultural
Del Grado	1864-1865		Fue dinamitado
De Madrid	1872-1876	Refuerzo de la estructura Limpieza de pintura y oxido de la estructura Sustitución de algunas partes de la estructura metálica, limpieza de pilas y arcos y repintado	Sin uso Declarado Bien de Interés Cultural

Puente / Viaducto	Año de construcción	Reparaciones	Estado actual
Alfonso XII	1878-1880		Derribado
De Hierro de Logroño	1881-1882	Repintado en varias ocasiones Limpieza y engrasado de los elementos de apoyo	En funcionamiento
Internacional de Tuy	1881-1886	Corrección de la inclinación	En funcionamiento
De Hierro de Mérida	1883	Se conservo la estructura	En funcionamiento Busca ser declarado Bien de Interés Cultural
De Pontevedra	1884	Refuerzo y repintado de la estructura	En funcionamiento Busca ser declarado Bien de Interés Cultural
De Anchurón	1893-1895	Sustitución de las vigas	En funcionamiento
De Hierro de Zaragoza	1895	Reparación y repintado de la estructura metálica	Uso peatonal Declarado Bien de Interés Arquitectónico
Del Hacho	1897-1898		Sin uso En proceso de ser declarado Bien de Interés Cultural
Del Salado	1899	Refuerzo de la estructura Sustitución del tablero y engrosamiento de las pilas	En funcionamiento
Enrique Estevan	1902-1915	Repintado Limpieza, reparación y repintado de la estructura metálica	Reabierto al tráfico Declarado Bien de Interés Cultural
Arganda	1905-1910	Reconstruido después de la guerra	Cerrado al tráfico, pero de uso turístico Declarado Bien de Interés Patrimonial

De su análisis se puede obtener los siguientes gráficos:

- El gráfico 2.1. indica que aproximadamente un 68% de los puentes estudiados permanecen en uso, por lo que un 32% no es utilizado, siendo la mitad de ellos a causa de que fueron demolidos para ser sustituidos, como es el caso del puente de Isabel II, que fue reemplazado por un puente de piedra. La otra mitad en desuso se debe a que están en malas condiciones impidiendo el tránsito por seguridad, como por ejemplo el viaducto de Madrid, aunque se debe tener en cuenta que algunos de los puentes que se encuentran en uso tienen tránsito limitado debido a que no cumplen con las condiciones, como es el caso del puente Colgante de Valladolid. Además, existen casos que para no quedar en desuso se les busco una nueva utilidad, como es el caso del viaducto de Ormaiztegui o el puente de Hierro de Zaragoza, que tienen uso meramente peatonal, mientras que el puente de Arganda tiene un uso turístico.

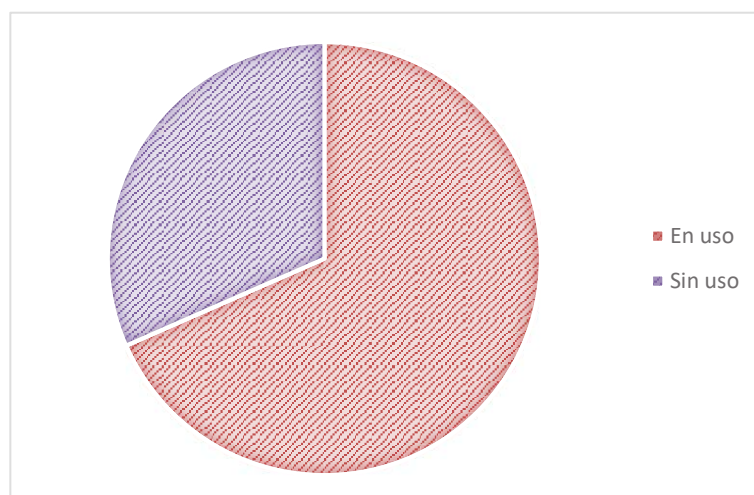


Gráfico 2. 1. Puentes en uso y desuso

Fuente. Tabla 2.4

- Otro punto importante son las reparaciones a las que han sido sometidos los puentes, según la información recopilada un 79% de ellos fueron reparados, ya sea reparaciones completas de la estructura, como mejoras menores, quedando un 21% de los cuales no se obtuvo información sobre reparaciones. Es importante entender que, aunque la mayoría de estas estructuras fueron reparadas, solo en siete de ellas han sido trabajos recientes, es decir, desde el año 2000, lo cual cobra mucha importancia entendiendo que su conservación es garantía de supervivencia. Una de las explicaciones a esto es que en muchas situaciones es menos costoso construir un nuevo puente que mejorar la estructura, como es el caso del viaducto el Hacho.

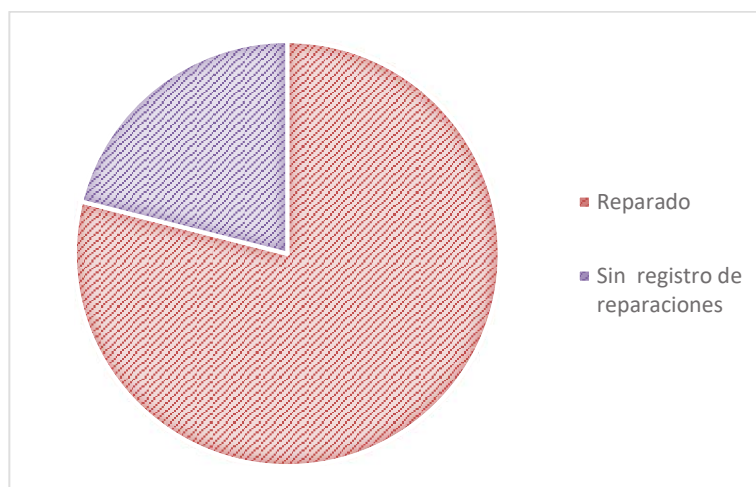


Gráfico 2. 2. Registro de reparaciones

Fuente. Tabla 2.4

- Un 42% de los puentes estudiados son o están en proceso de ser declarados Bien de Interés Cultural, lo que confirma la escasa protección cultural que tienen las obras públicas en general y los puentes en particular, tomando en cuenta que han pasado por lo menos 120 años desde que fueron construidos. Aunque existen otras formas de protección, como es el caso del puente de Hierro de Zaragoza, el cual recibe una protección particular de su comunidad autónoma, debido a que es considerado por el Plan General de Ordenación Urbana como Bien de Interés Arquitectónico. Otro ejemplo de esto es el puente de Arganda, el cual es considerado como Bien de Interés Patrimonial.

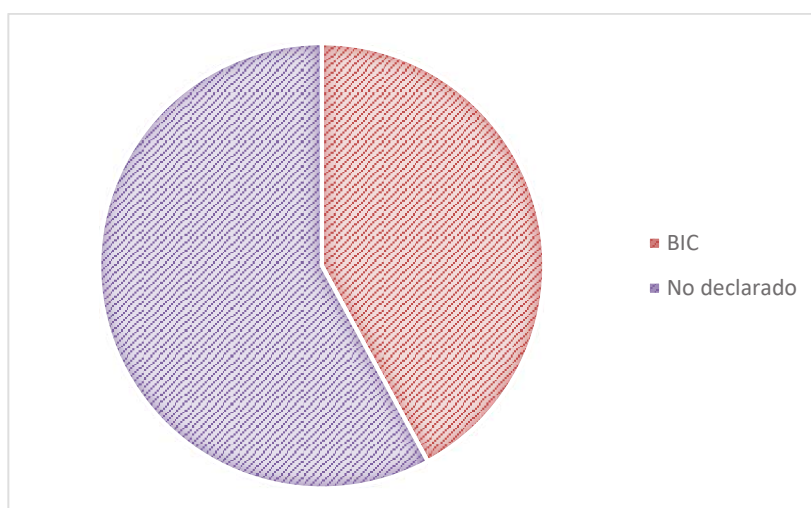
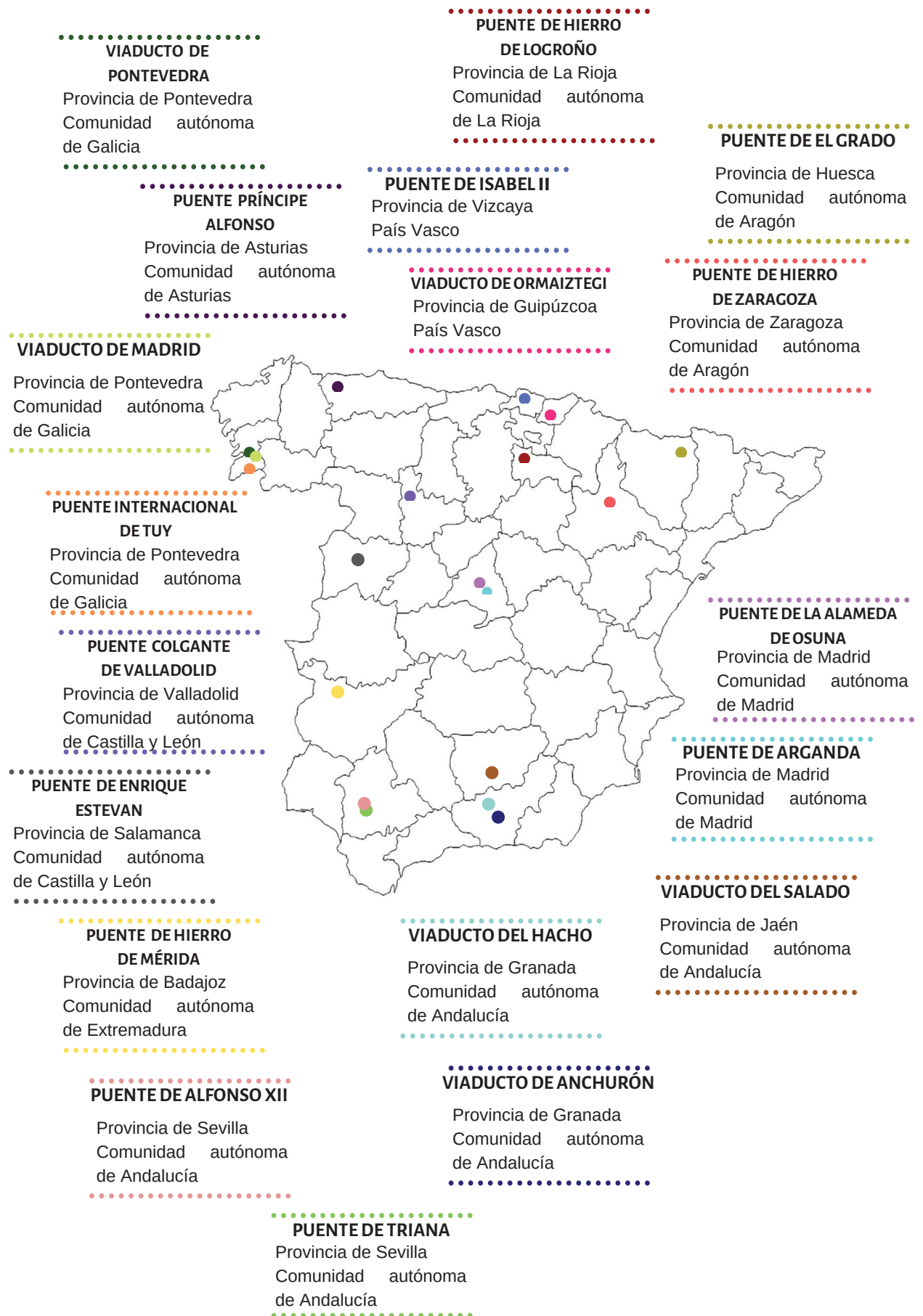
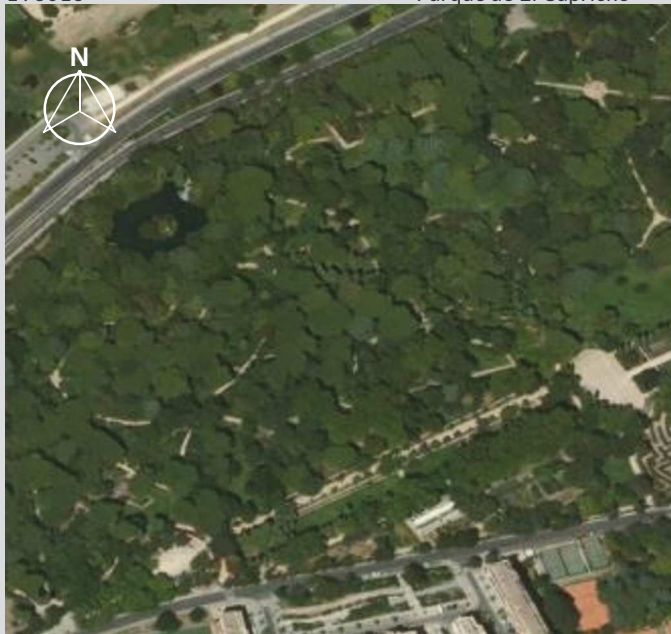


Gráfico 2. 3. Puentes declarados Bien de Interés Cultural

Fuente. Tabla 2.4.

PUENTES METÁLICOS DE ESPAÑA DEL SIGLO XIX





PUENTE DE LA ALAMEDA DE OSUNA

Puente del Parque El Capricho

LOCALIZACIÓN

Barrio Alameda de Osuna
Provincia de Madrid
Comunidad autónoma de Madrid
Uso peatonal en Parque El Capricho

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Descripción tipológica

Puente de hierro compuesto por dos arcos, con tabloncillos de roble dispuestos longitudinalmente. En ambas cabeceras una escalinata de madera sobre una estructura de hierro, que termina en una escalinata de cuatro peldaños de sillería de granito.

Dimensiones

Longitud total : 2,93[m]
Anchura tablero: 1,12 [m]

CRONOLOGÍA

- En 1784 fue creado el Parque El Capricho por los Duques de Osuna.
- En 1830 se construyó el Puente de la Alameda de Osuna, se cree que diseñado por el arquitecto Martín López Aguado.
- Durante 1974 el Ayuntamiento de Madrid compró el parque.



Parque El Capricho, al fondo puente de la Alameda de Osuna

Fuente. unbuendiaenmadrid.com/

ESTADO ACTUAL Y USOS

El puente del Parque El Capricho puede ser considerado como la estructura metálica más antigua construida en España y actualmente se encuentra prohibido el paso peatonal.



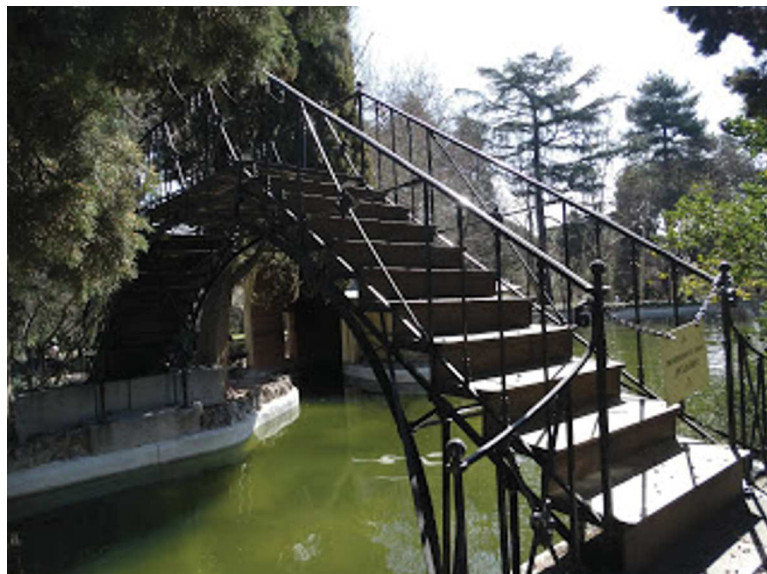
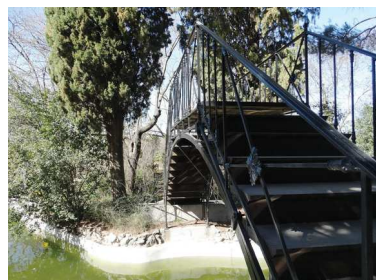
Puente de la Alameda de Osuna

Fuente, es.wikipedia.org/

PUENTE DE LA ALAMEDA DE OSUNA

Puente del Parque El
Capricho

Vista actual Puente de la Alameda de Osuna



Fuente. loboquirce.blogspot.com/2016/06/pasarela-de-los-jardines-de-el-capricho.html

Madrid. 2019. Parque El Capricho de la Alameda de Osuna [online]. Disponible en https://www.esmadrid.com/informacion-turistica/parque-del-capricho?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F

Wikipedia. 2018. Puente de hierro del Parque de El Capricho [online]. Disponible en https://es.wikipedia.org/wiki/Puente_de_hierro_del_Parque_de_El_Capricho

Cazando puentes. 2016. Pasarelas de los jardines de el Capricho. Madrid [online]. Disponible en <http://loboquirce.blogspot.com/2016/06/pasarela-de-los-jardines-de-el-capricho.html>

Instituto Geográfico Nacional. 2019. Cartografía y Datos geográficos [online]. Disponible en <https://www.ign.es/web/cbg-area-cartografia>



PUENTE DE ISABEL II

Puente del Arenal

LOCALIZACIÓN

Bilbao
Provincia de Vizcaya
País Vasco
Río: Nervión

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Descripción tipológica

Puente de hierro formado por cinco arcos, siendo el central levadizo, accionado por cadenas y contrapesos, apoyado sobre cuatro pilas de piedra.

Dimensiones

Luz libre: 11 [m]
Anchura tablero: 10 [m]

CRONOLOGÍA

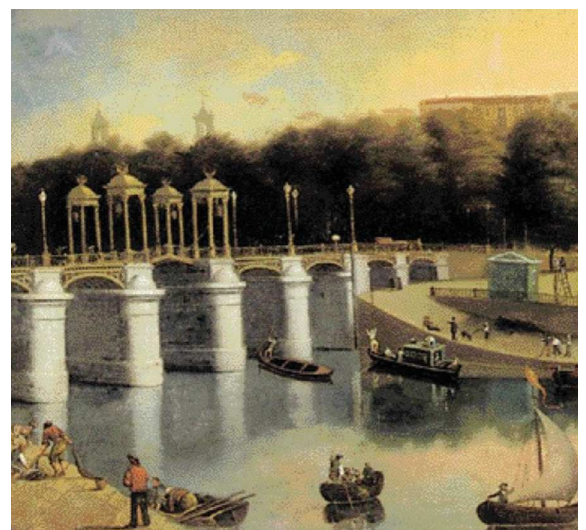
- Fue proyectado en **1844** por el arquitecto Antonio de Goicoechea.
- La construcción comenzó en **1845** y se terminó en **1847** con la colaboración del ingeniero de caminos Pedro Celestino Espinosa.



Vista Puente de Isabel II
Fuente. ondaregia.com/

REPARACIONES

- **1865:** Se elimina la maniobra de alzado debido al deterioro que sufre el puente producto de las riadas y el aumento de tráfico, siendo tres de sus arcos sustituidos por tramos de madera.
- **1874:** El puente vuelve a sufrir daños a causa de un bombardeo durante el tercer sitio de Bilbao y nuevas riadas.
- **1878:** Es sustituido por un puente de piedra.



Pintura Puente de Isabel II. Juan de Barroeta 1850
Fuente. ondaregia.com/puente-de-isabel-ii-bilbao-hace-170-anos/

PUENTE DE ISABEL II

Puente del Arenal

ESTADO ACTUAL Y USOS

Acorde a la investigación de Joaquín Cárcamo, los cuchillos de uno de los arcos del Puente de Isabel II fueron utilizados en **1876** para la construcción del puente en la desembocadura del río Udondo.



Puente río Udondo.

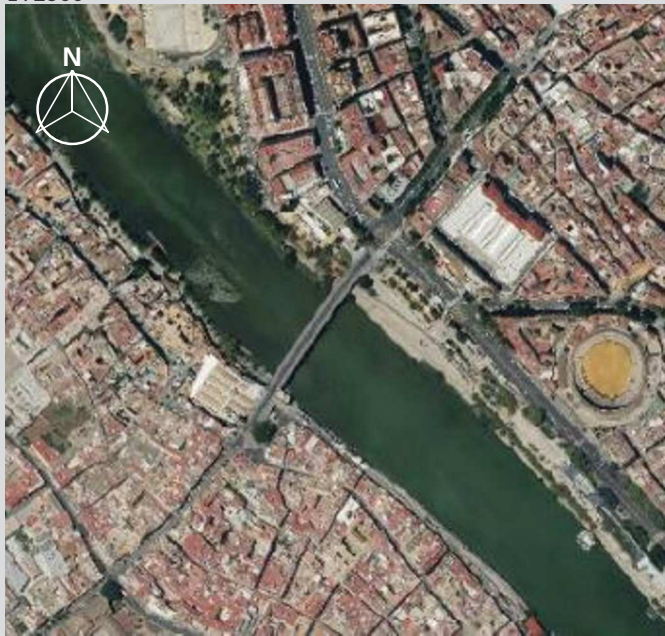
Fuente. www.patrimonioindustrialvasco.com/actividades/desmontando-un-puente-para-reutilizarlo-en-otro-lugar-en-el-bilbao-del-siglo-xix/

Deia. 2018. Puente de Isabel II, Bilbao, hace 170 años [online]. Disponible en <https://www.deia.eus/2018/01/23/opinion/tribuna-abierta/puente-de-isabel-ii-bilbao-hace-170-anos>

Debilbaopues. 2017. Puente del Arenal, historia y curiosidades [online]. Disponible en <https://www.debilbaopues.com/puente-arenal/>

Wikipedia. 2018. Puente del Arenal [online]. Disponible en [https://es.wikipedia.org/wiki/Puente_del_Arenal#Puente_de_hierro_\(1845-1876\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Puente_del_Arenal#Puente_de_hierro_(1845-1876))

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Visor SigPac [online]. Disponible en <http://sigpac.mapa.es/fega/visor/>



PUENTE DE TRIANA

Puente Isabel II

LOCALIZACIÓN

Población Triana
Provincia de Sevilla
Comunidad autónoma de Andalucía
Río: Guadalquivir

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Descripción tipológica

Puente arco de tres vanos, en el que cada tramo está formado por cinco cerchas de sección elíptica arriostradas transversalmente, con pilas y estribos de sección rectangular.

Materialidad

Los arcos y aros son de hierro fundido y las pilas y estribos de piedra. El tablero originalmente estaba formado por un emparrillado de perfiles metálicos y pavimento de hormigón.

Dimensiones

Longitud total : 154,5 [m]
Luz libre: 45 [m]
Espesor pilas: 4 [m]
Anchura tablero: 15,9 [m]
Altura máxima de la rasante: 13 [m]

CRONOLOGÍA

- Proyecto y construcción a cargo de los ingenieros franceses Gustavo Steinacher y Fernando Bernadet.
- La construcción se inició en 1845 y se terminó a comienzos de 1852.
- Entre 1846 y 1848 ambos ingenieros abandonaron el proyecto, quedando a cargo de su construcción el Ayuntamiento, hasta que en 1851 se encargaron los últimos trabajos al ingeniero Canuto Corroza.



Vista antigua Puente de Triana
Fuente. sevillasecreta.co/

REPARACIONES

- 1881: Consolidación de las pilas y estribos.
- 1918: El ingeniero Ramírez Doreste y el arquitecto Juan Talavera sustituyeron el tablero, se reataron los arcos entre sí, se rebajo 40 [cm] el canto del tablero y se amplió la plataforma transversalmente.
- 1957 y 1958: Se emitieron dos informes para modificar su estructura, debido al aumento del tráfico rodado, provocando el cierre para el tránsito de camiones y autobuses.
- 1977: Sufrió una profunda restauración a cargo de los ingenieros Juan Batanero y Manuel Ríos Pérez, que consistió en la instalación de un nuevo tablero auto-portante compuesto por dos vigas metálicas longitudinales con forma de cajón (canto 1,4 [m] y ancho 2,5 [m]). Además fueron reforzados las pilas, estribos y la cimentación.



Viga y nervios de la chapa ortótropa
Fuente. www.acacr.es/discursos/Discurso

Reparaciones recientes

Ha sufrido retoques viales como la creación de ciclovías y pasos peatonales, estrechando la calzada para la circulación del tráfico.

PUENTE DE TRIANA

Puente Isabel II

ESTADO ACTUAL Y USOS

Es uno de los puentes metálicos de hierro fundido más antiguos que aún se encuentra en funcionamiento en España. Dentro de sus usos está el tránsito de vehículos, personas y bicicletas, ya que es la conexión entre ambas orillas del río.

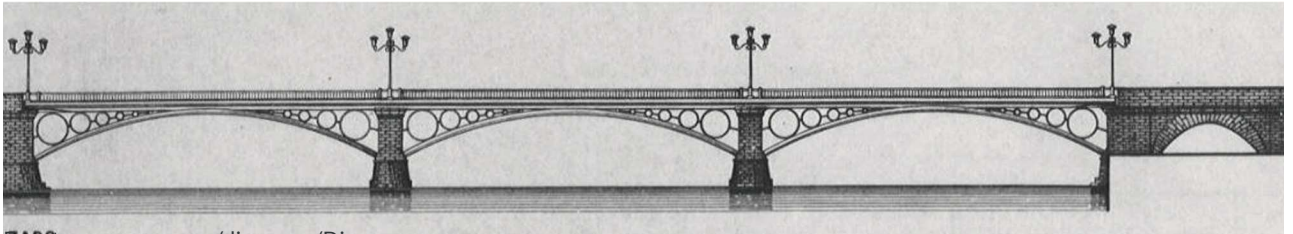
En 1976 fue declarado Monumento Histórico Nacional.

VISTA ACTUAL PUENTE DE TRIANA



Fuente. www.puentemania.com/3009

VISTA PUENTE EN ALZADO



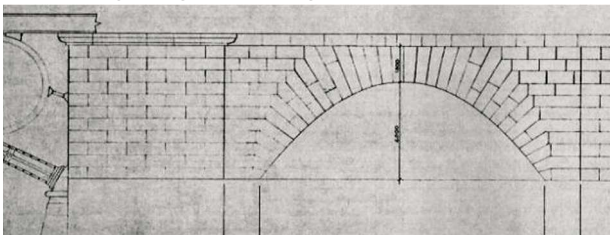
Fuente. www.acacr.es/discursos/Discurso

VISTA ACTUAL ESTRIBO



Fuente. www.puentemania.com/3009

DETALLE ESTRIBO EN ALZADO



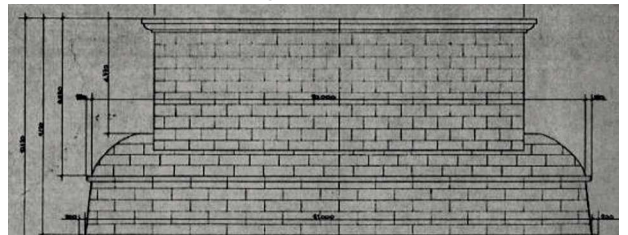
Fuente. www.acacr.es/discursos/Discurso

VISTA ACTUAL PILAS



Fuente. www.diariosur.es/andalucia/201411/02/

DETALLE PILA EN ALZADO



Fuente. www.acacr.es/discursos/Discurso

Rodríguez, Alberto. 2014. El Puente de Triana y su "padre francés" [online]. Disponible en <http://sevillalegendaria.blogspot.com/2014/03/el-puente-de-triana-y-su-padre-frances.html>

Academia Andaluz de ciencia regional. 2017. El puente de Triana. Un rescate de la ingeniería andaluza para la historia de Sevilla. Sevilla. España.

Gómez, Jose Carlos. 2012. Puente de Triana [online]. Disponible en <http://www.puentemania.com/3009>

ACS. Aguiló, Miguel. 2007. El carácter de los puentes españoles. Madrid. España.

Hernández, Santiago. Durán, Manuel. Chías, Pilar. 2009. Puentes de España. Tránsito de culturas. Barcelona. España.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Visor SigPac [online] <http://sigpac.mapa.es/feqa/visor/>



PUENTE PRÍNCIPE ALFONSO

Puente de Porto

LOCALIZACIÓN

Une las localidades de Porto y Vegadeo
Provincia de Asturias
Comunidad autónoma de Asturias
Río: Eo
Carretera N-634 en la frontera entre
Asturias y Galicia

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Descripción tipológica

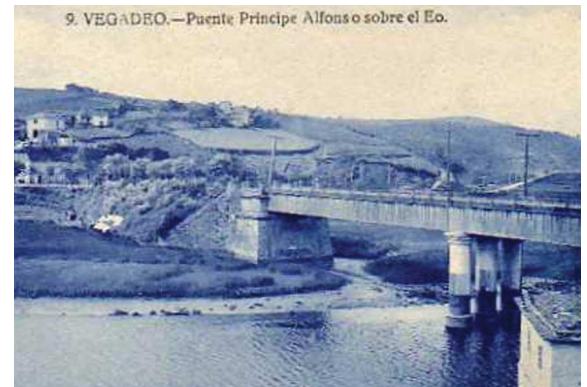
Puente de hierro de dos vanos formado por tres vigas cajón apoyadas sobre tres pilas cilíndricas metálicas rellenas de hormigón y dos estribos.

Dimensiones

Longitud total : 90,7 [m]
Luz libre: 38 [m]
Anchura tablero: 8 [m]
Altura máxima de la rasante: 13 [m]

CRONOLOGÍA

- En **1834** se aprueba la construcción de la carretera Villalba a Vegadeo.
- La reina Isabel II en **1855** aprueba la construcción de un puente de piedra de cuatro arcos, proyecto que es desechado por dificultades que presenta en la cimentación.
- El ingeniero Salustino González Reguerual realiza el diseño del puente en **1859** comenzando su construcción el mismo año.
- El puente fue inaugurado en **1863**.



Vista antigua puente Príncipe Alfonso (1930)
Fuente. www.todocoleccion.net

REPARACIONES

- **1973**: Se realizaron trabajos de reparación a la estructura, encontrándose un cartucho de dinamita puesto durante la Guerra Civil Española.



Puente Príncipe Alfonso
Fuente. ACS. Aguiló, Miguel. 2007

ESTADO ACTUAL Y USO

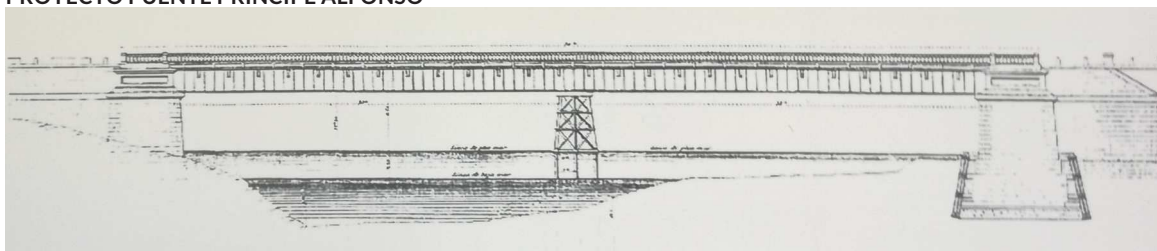
Actualmente el Puente Príncipe Alfonso sigue en funcionamiento, pero ha disminuido su tráfico desde la construcción del Puente de los Santos.

Debido a su gran importancia, el año **2013** se conmemoraron sus 150 años con una placa por parte del Ayuntamiento de Vegadeo y el lanzamiento de un sello que realizó la asociación filatélica "Río Suarón".

PUENTE PRÍNCIPE ALFONSO

Puente de Porto

PROYECTO PUENTE PRÍNCIPE ALFONSO



Fuente. ACS. Aguiló, Miguel. 2007

VISTA ACTUAL PUENTE PRÍNCIPE ALFONSO



Fuente. desdeesterincon.blogspot.com

Hernández, Santiago. Durán, Manuel. Chías, Pilar. 2009. Puentes de España. Tránsito de culturas. Barcelona. España.

ACS. Aguiló, Miguel. 2007. El carácter de los puentes españoles. Madrid. España.

Desde este rincón del mundo. 2013. Puente de Porto (Ribadeo) ciento cincuenta años de historia [online]. Disponible en <http://desdeesterincon.blogspot.com/2013/08/puente-de-porto-ciento-cincuenta-anos.html>

La Nueva España. 2013. Vegadeo celebra los 150 años de la inauguración del puente de Porto [online]. Disponible en <https://www.lne.es/occidente/2013/08/09/vegadeo-celebra-150-anos-inauguracion/1453385.html>

Instituto Geográfico Nacional. 2019. Cartografía y Datos geográficos [online]. Disponible en <https://www.ign.es/web/cbg-area-cartografia>



VIADUCTO DE ORMAIZTEGI

LOCALIZACIÓN

Comarca del Goierri
Provincia de Guipúzcoa
País Vasco
Río: Entanda
Línea férrea Madrid-Hendaya

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Descripción tipológica

Viaducto formado por tres vigas de celosía metálica con cinco vanos, apoyados sobre pilas de fábrica.

Dimensiones

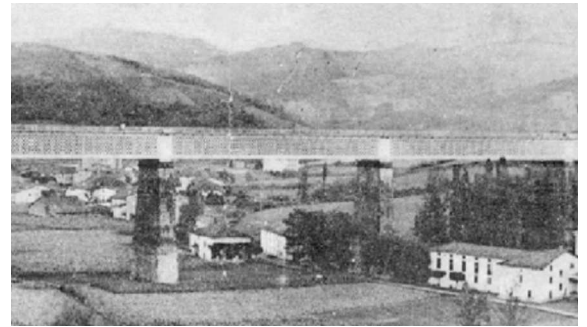
Longitud total : 289 [m]

Luz libre: 60,2 [m]

Altura máxima de la rasante: 34 [m]

CRONOLOGÍA

- Fue construido en 1863 por la casa francesa Ernest Gouni et Cie a cargo del ingeniero Alejandro Lavallej.



Vista antigua viaducto de Ormaiztegi.

Fuente. www.researchgate.net

REPARACIONES

- **1874:** Durante la tercera guerra Carlista fue derribado y reparado inmediatamente.
- **1929:** Fue electrificado junto al tramo Alsasua a Irún.
- **1936:** Durante este año fueron destruidos dos tramos del viaducto de Ormaiztegi , siendo los mismos tramos derribados los utilizados para su reconstrucción, además se agregaron pilas de hormigón para sostener la estructura.
- **1937:** Es restablecida la circulación por vía única, restituyendo el último tramo.
- **1941:** Es restablecida la circulación por doble vía gracias al montaje de la tercera viga por la sociedad de Talleres de Zorroza.



Viaducto de Ormaiztegi derribado

Fuente. Marín. Fototeca Gure Gipuzkoa



Viaducto de Ormaiztegi con pilas de hormigón

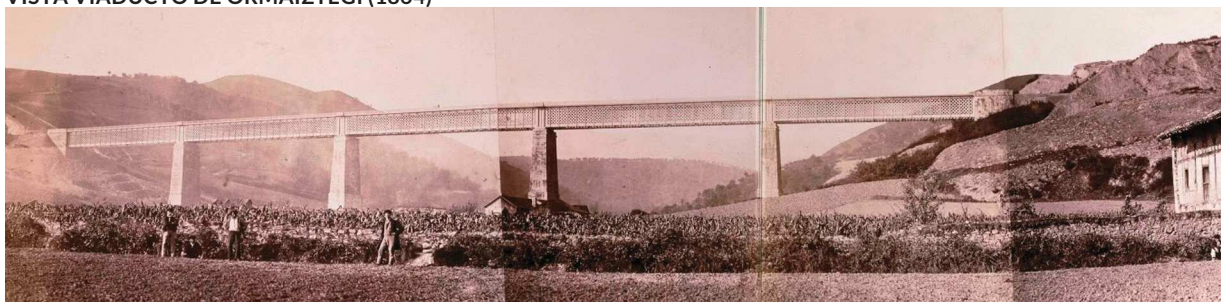
Fuente. www.intxorta.org/

VIADUCTO DE ORMAIZTEGI

ESTADO ACTUAL Y USO

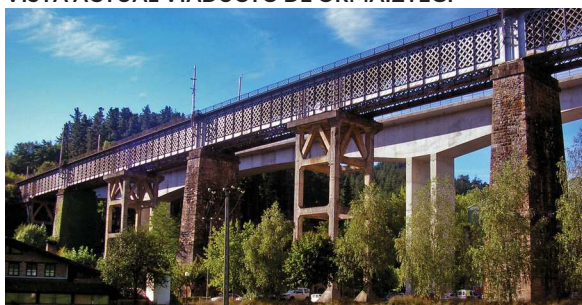
El viaducto de Ormaiztegi sirvió a los ferrocarriles españoles por 131 años, hasta que en 1995 fue cerrado debido a la construcción de un nuevo viaducto de hormigón pretensado emplazado a un costado. Mediante la consulta popular, los vecinos decidieron que el viaducto fuera conservado y fuera utilizado para uso peatonal. Inició el proceso para ser declarado como Bien de Interés Cultural, pero aún no se ha resuelto.

VISTA VIADUCTO DE ORMAIZTEGI (1864)



Fuente. Archivo de la Biblioteca Nacional.

VISTA ACTUAL VIADUCTO DE ORMAIZTEGI



Fuente. www.mitramiss.gob.es



Fuente. www.reharq.com



Fuente. www.reharq.com



Fuente. www.reharq.com

CARTADESPAÑA. 2015. Ormaiztegi, un general rebelde y un puente de hierro [online]. Disponible en http://www.mitramiss.gob.es/cartaespana/es/noticias/Noticia_0271.htm

Hiru.eus. 2016. Viaducto De Ormaiztegi [online]. Disponible en <https://www.hiru.eus/es/historia/viaducto-de-ormaiztegi>

Reharq*. 2014. El viaducto de Ormaiztegi cumplió 150 años, y reharq* estuvo allí para contártelo [online]. Disponible en <https://www.reharq.com/el-viaducto-de-ormaiztegi-cumplio-150/>

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Visor SigPac [online]. Disponible en <http://sigpac.mapa.es/feqa/visor/>

Hernández, Santiago. Durán, Manuel. Chías, Pilar. 2009. Puentes de España. Tránsito de culturas. Barcelona. España.

ACS. Aguiló, Miguel. 2007. El carácter de los puentes españoles. Madrid. España.



PUENTE COLGANTE DE VALLADOLID

Puente de Prado

LOCALIZACIÓN

Provincia de Valladolid
Comunidad autónoma de Castilla y León
Río: Pisuerga
Carretera del siglo XIX de Salamanca a Valladolid

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Descripción tipológica

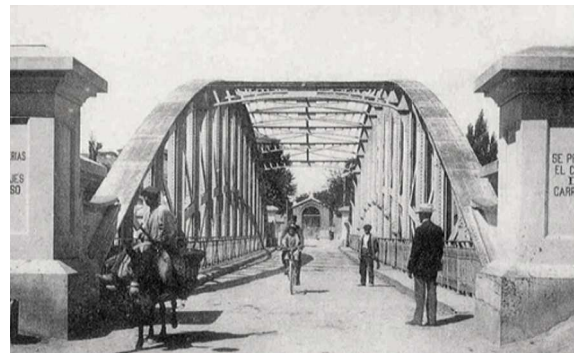
Puente de hierro forjado de un tramo con vigas tipo Bowstring sobre estribos de piedra.

Dimensiones

Longitud total : 71,8 [m]
Luz libre: 67,7 [m]
Anchura tablero: 7 [m]
Altura máxima de la rasante: 19 [m]

CRONOLOGÍA

- En **1854** fueron desarrollados diferentes proyectos por parte de la Comisión de Puentes de Hierro, formada por Lucio del Valle, Ángel Mayo y Víctor Martí, de los cuales se eligió la viga bowstring.
- El Puente de Prado fue construido por la empresa John Henderson Porter en Birmingham, Gran Bretaña.
- El montaje del puente duro siete meses y se inauguró en **1865**.



Vista antigua Puente colgante de Valladolid
Fuente: jesusantaroca.wordpress.com//puentes-sobre-el-pisuerga/

REPARACIONES

- **1869**: D. Anastasio Piernavieja estuvo a cargo de las obras de reparación del piso del puente.
- **1889**: Fueron reforzadas las vigas del tablero.
- **1916**: Fue sustituido el piso de madera original por uno convencional.
- **1995**: El puente colgante sufrió una restauración completa, en donde fue sustituido el piso del tablero y toda la estructura metálica recibió un tratamiento anticorrosivo.

Reparaciones recientes

- **2009**: El puente fue repintado de color negro por orden del Ayuntamiento de Valladolid.



Puente colgante de Valladolid antes de ser repintado.
Fuente: www.elnortedecastilla.es/20090228/valladolid/

PUENTE COLGANTE DE VALLADOLID

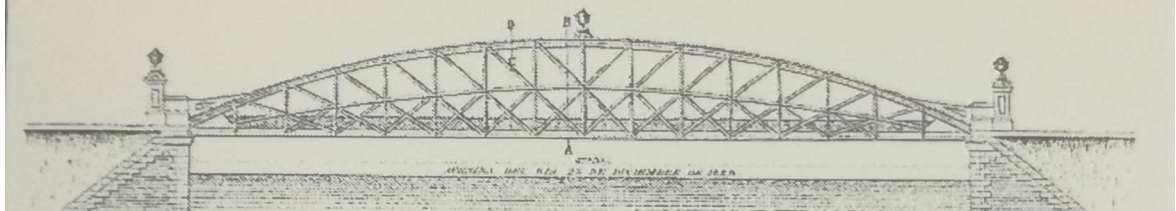
Puente de Prado

ESTADO ACTUAL Y USO

Actualmente el Puente de Prado sigue en funcionamiento tanto para tránsito peatonal como de vehículos, aunque este último está limitado.

Inició el proceso para ser declarado como Bien de Interés Cultural, pero aún no se ha resuelto.

VISTA EN ALZADO DE PROYECTO PUENTE DE PRADO



Fuente. ACS. Aguiló, Miguel. 2007. El carácter de los puentes españoles. Madrid. España.

VISTA ACTUAL PUENTE DE PRADO



Fuente. <https://structurae.net/structures/puente-colgante-de-valladolid>

VISTA ACTUAL PUENTE DE PRADO



Fuente. arquitecturava.es/proyectos-valladolid/el-puente-colgante-o-puente-de-prado/

ArquitecturaVA. 2016. El Puente Colgante (o Puente de Prado) [online]. Disponible en <http://arquitecturava.es/proyectos-valladolid/el-puente-colgante-o-puente-de-prado/>

Wikipedia. 2018. Puente Colgante de Valladolid [online]. Disponible en https://es.wikipedia.org/wiki/Puente_Colgante_de_Valladolid

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Visor SigPac [online]. Disponible en <http://sigpac.mapa.es/fega/visor/>

ACS. Aguiló, Miguel. 2007. El carácter de los puentes españoles. Madrid. España.

Hernández, Santiago. Durán, Manuel. Chías, Pilar. 2009. Puentes de España. Tránsito de culturas. Barcelona. España.

PUENTE DE EL GRADO

LOCALIZACIÓN

Provincia de Huesca
Comunidad autónoma de Aragón
Río: Cinca
Carretera de Barbastro a Francia

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Descripción tipológica

Puente arco de hierro forjado de un solo vano, formado por cuatro arcos paralelos, sobre estribos de piedra con sillería labrada.

Dimensiones

Longitud total : 68 [m]
Luz libre: 68 [m]
Anchura tablero: 5,9 [m]
Altura máxima de la rasante: 48 [m]

CRONOLOGÍA

- En **1860** se firmo el proyecto de la carretera 2º Orden de Barbastro a Benasque, en donde se expresa la necesidad de un puente. Luis Corsini fue el ingeniero a cargo de este proyecto y propuso un puente metálico de un solo vano debido a las dificultades que presentaba el terreno para construir pilas.
- La obra del puente de El Grado, es dividida en dos proyectos.
- Durante **1863** el ingeniero José de Echevarría Elguera diseña la estructura metálica del puente, mientras que el diseño de los estribos se le encarga a Gumersindo Canals.
- En **1864** la casa Schneider & Cia de Le Creusot firma el contrato para la fabricación de la estructura metálica del puente.
- El montaje de la estructura estuvo a cargo del ingeniero Juan Bautista Nevot.
- Se finalizó la obra en **1865**.

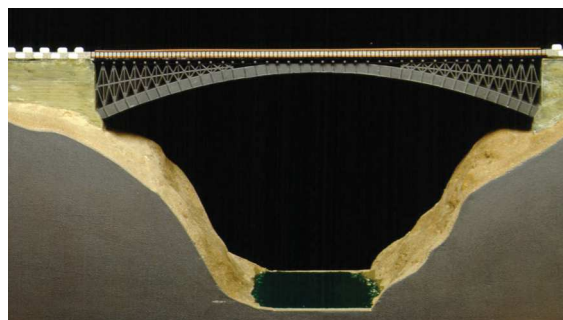


Puente de El Grado

Fuente. elrincondeartasona.blogspot.com/

ESTADO ACTUAL Y USO

El puente de El Grado fue dinamitado durante la Guerra Civil Española.



Maqueta puente de El Grado

Fuente. www.museovirtual.cedex.es/imagen.aspx?

ACS. Aguiló, Miguel. 2007. El carácter de los puentes españoles. Madrid. España.

El rincón de Artasona. 2009. Puentes sobre el río Cinca [online]. Disponible en <http://elrincondeartasona.blogspot.com/2009/10/puentes-sobre-el-rio.html>

Biel Ibáñez, Pilar. 2010. La construcción de puentes metálicos en arco en España: el puente de El Grado diseño de José de Echeverría Elguera (1823-1886). Artígrama, núm. 25, 2010, pp. 507-522. ISSN: 0213-1498



VIADUCTO DE MADRID

LOCALIZACIÓN

Villa pontevedresa, Redondela
Provincia de Pontevedra
Comunidad autónoma de Galicia
Salva Valle de Redondela
Línea férrea Vigo-Ourense

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Descripción tipológica

Viaducto de hierro en celosía de cinco vanos apoyados sobre cuatro pilas de sillería rellenas de madera de pino.

Dimensiones

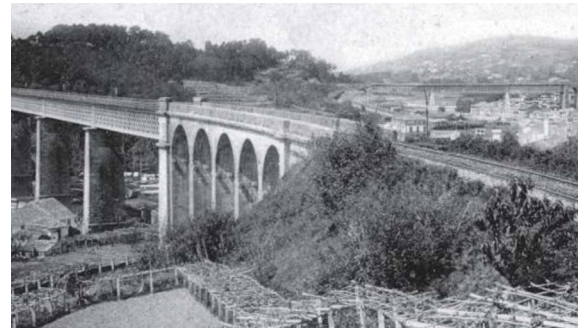
Longitud total : 411 [m]

Luz libre: 52 [m]

Altura máxima de la rasante: 32 [m]

CRONOLOGÍA

- En **1863** se aprobó el proyecto de la red ferroviaria de Galicia.
- El proyecto del viaducto de Madrid, tanto su diseño como su construcción, estuvo a cargo de la compañía Parent Schaken Hovel & Caillet (Compañía Fives-Lilles) con la dirección del arquitecto Augusto Cazaux.
- En **1872** se comenzó con la construcción del viaducto.
- El viaducto fue inaugurado en **1876**.



Vista antigua viaducto de Madrid
Fuente. Merico de Cos, Rafael. 2015

REPARACIONES

- **1912:** Se reforzó la estructura.
- **1981:** Se encargaron varios estudios de rehabilitación de la estructura por parte de la Xunta, lo cual no se llevó a cabo.

Reparaciones recientes

- **2000:** Se realizaron trabajos de limpieza de la pintura y el óxido de la estructura, para darle una primera capa de imprimación.
- **2009:** Se instaló una red sobre la estructura para evitar la caída de material debido a su mal estado.
- **2012-2014:** Se ejecutaron trabajos para la rehabilitación del viaducto, que consistieron en sustituir algunas partes de la estructura metálica en mal estado, limpieza de los arcos y pilas y repintado de la estructura metálica de color verde oscuro.



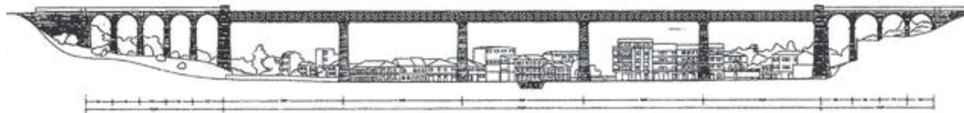
Viaducto de Madrid después de ser repintado
Fuente. www.farodevigo.es

VIADUCTO DE MADRID

ESTADO ACTUAL Y USO

Durante 1971 se dejó de utilizar el viaducto de Madrid a causa de la construcción de la nueva línea Redondela-Guixar, por lo que se descuidó su estructura hasta su restauración, pero aún no se le encuentra otro uso. Además, debido a que el viaducto fue declarado Bien de Interés Cultural en 1978 se debe pedir permiso para realizar cualquier alteración a la estructura, lo que dificulta la realización de proyectos que busquen darle una nueva utilidad.

VISTA EN ALZADO PROYECTO VIADUCTO DE MADRID



Fuente. Merico de Cos, Rafael. 2015.

VISTA ACTUAL VIADUCTO DE MADRID



Fuente. www.redondelanexpress.blogspot.com

VISTA ACTUAL PILAS Y ARCOS DE SILLERÍA VIADUCTO DE MADRID



Fuente. www.turismo.gal

Merico de Cos, Rafael. 2015. Los ingenieros arquitectos, Mariano Carderera Ponzán y el puente de Redondela. Madrid. España.

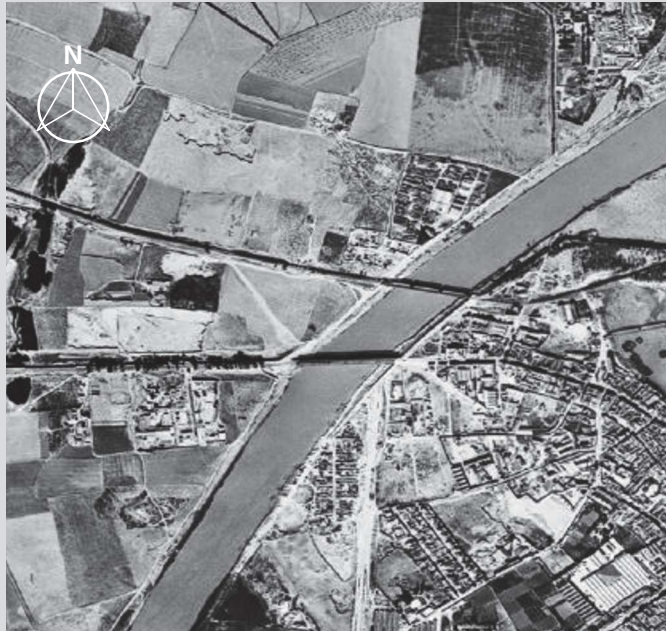
Pinacho, Antonio. 2014. La restauración del viaducto antiguo de Redondela concluye tras 18 meses de obra. Faro de Vigo. Disponible en <https://www.farodevigo.es/comarcas/2014/10/04/restauracion-viaducto-antiguo-redondela-concluye/1105671.html>

Pinacho, Antonio. 2012. El viaducto antiguo recuperará su brillo. Faro de Vigo. Disponible en <https://www.farodevigo.es/comarcas/2012/10/28/viaducto-antiguo-recuperara-brillo/703657.html>

Pontevedra, Silvia .2009. El Viaducto Madrid se cae a cachos. El País. Disponible en https://elpais.com/diario/2009/09/29/galicia/1254219505_850215.html

Pinacho, Antonio. 2017. El "viaducto de Pontevedra" estará un año en obras para un mantenimiento integral. Faro de Vigo. Disponible en <https://www.farodevigo.es/comarcas/2017/04/06/viaducto-pontevedra-estara-ano-obras/1655636.html>

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Visor SigPac [online]. Disponible en <http://sigpac.mapa.es/fega/visor/>



PUENTE DE ALFONSO XII

LOCALIZACIÓN

Provincia de Sevilla
Comunidad autónoma de Andalucía
Río: Guadalquivir
Enlace por vía férrea entre Sevilla y Huelva

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Descripción tipológica

Puente de estructura metálica de cinco vanos con uniones roblonadas, apoyados sobre los estribos y seis pilas metálicas rellenas de hormigón.

Dimensiones

Luz libre: 50 [m]

CRONOLOGÍA

- El puente fue construido en **1878** y estuvo a cargo de Jaime Font y Escolá.
- En **1880** fue inaugurado junto a la creación de la línea férrea entre Sevilla y Huelva.



Puente de Alfonso XII

Fuente. www.elsitio.eu/cosas-del-guadalquivir/puentes-de-sevilla/

ESTADO ACTUAL Y USO

En **1943** la línea férrea Sevilla-Huelva fue desplazada hacia el norte por lo que el puente quedó sin uso. Luego en **1948** el cauce del río Guadalquivir fue desviado y aterrada toda la zona en donde se ubicaba el puente de Alfonso XII y la pasadera del agua, por lo que fueron derribadas.



Puente de Alfonso XII y pasadera del agua

Fuente.

www.aiiaoc.com/archivos/varios/ConferenciaNicolasSala6.pdf

Estampas de Sevilla. 2007. Dos puentes y una estación desaparecidos [online]. Disponible en <http://www.galeon.com/juliodominguez/2007/pte.html>
Diario de Sevilla. 2009. Todos los puentes sobre el Guadalquivir [online]. Disponible en https://www.diariodesevilla.es/sevilla/puentes-Guadalquivir_0_264273820.html
Sevillapedia. 2014. Puentes de Sevilla [online]. Disponible en https://sevillapedia.wikanda.es/wiki/Puentes_de_Sevilla
El Sitio. 2019. Puentes de Sevilla sobre el Guadalquivir [online]. Disponible en <https://www.elsitio.eu/cosas-del-guadalquivir/puentes-de-sevilla/>
Instituto Geográfico Nacional. 2019. Cartografía y Datos geográficos [online]. Disponible en <https://www.ign.es/web/cbg-area-cartografia>



PUENTE DE HIERRO DE LOGROÑO

LOCALIZACIÓN

Provincia de La Rioja
Comunidad autónoma de La Rioja
Río: Ebro
Carretera de Soria a Logroño

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Descripción tipológica

Puente de hierro de once vanos formado por vigas de celosía apoyadas sobre dos estribos de mampostería y diez pilas cilíndricas pares de hormigón hidráulico envuelto en planchas de hierro.

Dimensiones

Longitud total : 330 [m]
Luz libre: 30 [m]
Anchura tablero: 11 [m]
Altura máxima de la rasante: 8 [m]

CRONOLOGÍA

- El proyecto del puente de Hierro de Logroño fue aprobado en 1881 y estuvo a cargo de los ingenieros José Echeverría Elguero y Eusebio Page y Alvareda (Director general de Obras Públicas).
- De su construcción se encargó la compañía La Maquinista Terrestre y Marítima de Barcelona, bajo la dirección del ingeniero Fermín Manso de Zuñiga y Echevarría, mientras que del montaje de la estructura se encargó el ingeniero Juan Escala.
- En 1882 fue inaugurado el puente junto a la apertura de la calle Sagasta.



Vista antigua puente de Hierro de Logroño
Fuente: www.todocoleccion.net

REPARACIONES

- 1892: Fue repintada la estructura por primera vez.
- 1896: Se instaló un tendido telefónico y una tubería de distribución de gas.
- 1899: Fue instalada una línea eléctrica.
- 1915: El ingeniero Jorge Palomo Durán redactó dos proyectos para la restauración y pintura de la estructura debido a que se encontraba en mal estado a causa de la oxidación.
- 1916: Se aprobó y realizó el proyecto de Jorge Palomo Durán.
- 1932: Se redactó un nuevo proyecto de pintura por parte de Feliciano Enríquez Contra, siendo adjudicada la obra a Juan Segovia Martínez.
- 1945: Fue inutilizado el primer tramo de la estructura por la comisión de Policía Urbana debido a que era utilizado como refugio. Además se propuso cerrar este sector con pilares y ladrillos.
- 1959: Se volvió a pintar el puente.
- 1994: El ayuntamiento llevó a cabo un proyecto redactado por Eduardo Negueruela Suberviola para realizar la reforma del alumbrado público del puente y de la pasarela peatonal.

PUENTE DE HIERRO DE LOGROÑO

Reparaciones recientes

- 2008: El Gobierno de La Rioja ordenó a la compañía FHECOR Ingenieros y Consultores SA redactar un proyecto de rehabilitación del puente. La compañía Eurocontratas SA se adjudicó la obra, que consistió en la limpieza y eliminación de vegetación de la piedra, la limpieza y engrasado de los elementos de apoyo de la estructura metálica y repintado de toda la estructura.

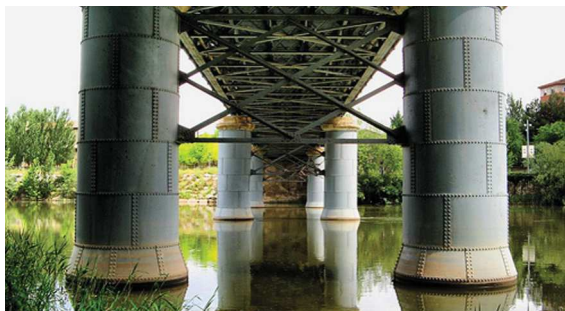
ESTADO ACTUAL Y USO

Actualmente el puente de Hierro de Logroño sigue prestando servicio al tránsito de vehículos y en la parte inferior de la estructura existe un parque, convirtiéndolo en un punto turístico de la zona.

VISTA ACTUAL PUENTE DE HIERRO DE LOGROÑO



Fuente: www.xn--logroo-0wa.es



Fuente: www.xn--logroo-0wa.es



Fuente: www.minube.com



Fuente: www.minube.com



Fuente: www.minube.com

Arrúe Ugarte, M^a Begoña. Fernández Troyano, Leonardo. Martínez Ocio, M^a Jesús. 2011. El puente de Hierro de Logroño. Logroño. España.

El Puente de Hierro de Logroño. 2016. La cara oculta de Logroño [online]. Disponible en <http://elpuentedehierroysagasta.blogspot.com/>

Gobierno de La Rioja. 2008. Carreteras adjudica las obras de reparación del puente de Hierro de Logroño por 1,7 millones de euros [online]. Disponible en <https://www.larioja.org/comunicacion/es/portavoz/carreteras-adjudica-obras-reparacion- puente-hierro-logrono->

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Visor SigPac [online]. Disponible en <http://sigpac.mapa.es/fega/visor/>



PUENTE INTERNACIONAL DE TUY

LOCALIZACIÓN

Provincia de Pontevedra
Comunidad autónoma de Galicia
Río: Miño
Uso carretero, ferroviario y peatonal.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Descripción tipológica

Corresponde a un puente viga de tipo celosía de hierro con cinco vanos biapoyados en pilas de piedra. La parte inferior de la celosía soporta el tablero de tráfico y la pasarela peatonal, mientras que la parte superior soporta el ferrocarril.

Dimensiones

Longitud total :393[m]
Luz libre: 69[m]
Espesor pilas: 3,3 - 2,6 [m]
Anchura tablero: 5,5 [m]
Altura máxima de la rasante: 25 [m]

CRONOLOGÍA

- En **1879** el proyecto estuvo a cargo del ingeniero español Pelayo Mancebo y Agreda.
- En **1881** la construcción fue adjudicada a la empresa belga "Braine le Compte", a cargo de los ingenieros Eugenio y Ernesto Rolín. Se propuso el reemplazo de los pilas metálicas proyectadas inicialmente por unas de piedra.
- Fue inaugurado oficialmente el 25 de marzo de **1886**.



Vista antigua Puente Internacional de Tuy.
Fuente, www.farodevigo.es

REPARACIONES

- **1975:** Se corrigió una inclinación anormal del puente, la cual fue dirigida por el ingeniero portugués Edgar Cardoso.



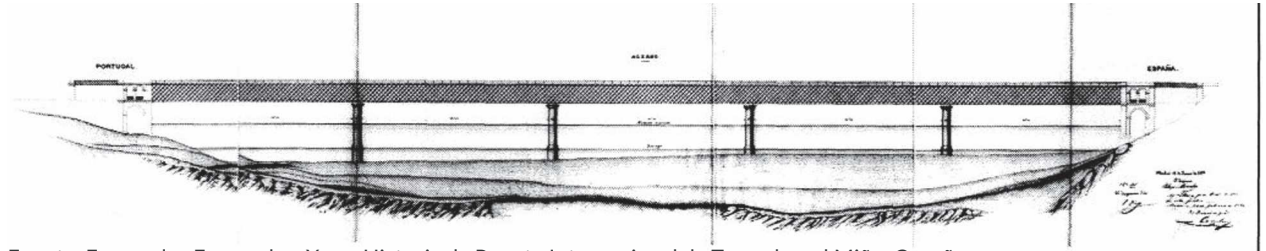
Vista actual Puente Internacional de Tuy
Fuente, es.wikipedia.org/

PUENTE INTERNACIONAL AL DE TUY

ESTADO ACTUAL Y USOS

Durante más de 100 años ha soportado el paso de vehículos, trenes y personas, pero desde 1993 ha descargado parte del tráfico en el nuevo y moderno puente internacional ubicado unos metros río abajo.

PROYECTO DE PUENTE INTERNACIONAL DE TUY



Fuente. Fernandez Fernandez, Xose. Historia de Puente Internacional de Tuy sobre el Miño. Coruña.

VISTA ANTIGUA PUENTE



Fuente. www.todocoleccion.net/postales-galicia/

VISTA ACTUAL PUENTE



Fuente. www.puentemania.com/1791

Galicia Máxica. 2019. Puente Internacional de Tui [online]. Disponible en <https://www.galiciamaxica.eu/galicia/pontevedra/comarca-do-baixo-mino/tui/puente-internacional-de-tui/>

Puentemania. 2012. Puente Internacional de Tuy [online]. Disponible en <http://www.puentemania.com/1791>

Alvarado Blanco, Segundo; Durán Fuentes, Manuel; Nárdiz Ortiz, Carlos. Pontes históricas de Galicia. CICCOP, A Coruña, 1991.

Faro de Vigo. 2018. El Puente Internacional, el preferido [online] Disponible en <https://www.farodevigo.es/comarcas/2018/03/22/puente-internacional-preferido/1859434.html>

Fernandez Fernandez, Xose. Historia de Puente Internacional de Tuy sobre el Miño. Coruña.

ACS. Aguiló, Miguel. 2007. El carácter de los puentes españoles. Madrid. España.

Hernández, Santiago. Durán, Manuel. Chías, Pilar. 2009. Puentes de España. Tránsito de culturas. Barcelona. España.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Visor SigPac [online]. Disponible en <http://sigpac.mapa.es/fega/visor/>



PUENTE DE HIERRO DE MÉRIDA

LOCALIZACIÓN

Plaza de Santa Clara, Mérida
Provincia de Badajoz
Comunidad autónoma de Extremadura
Río: Guadiana
Tramo Mérida-Zafra de la línea férrea
Mérida-Sevilla

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Descripción tipológica

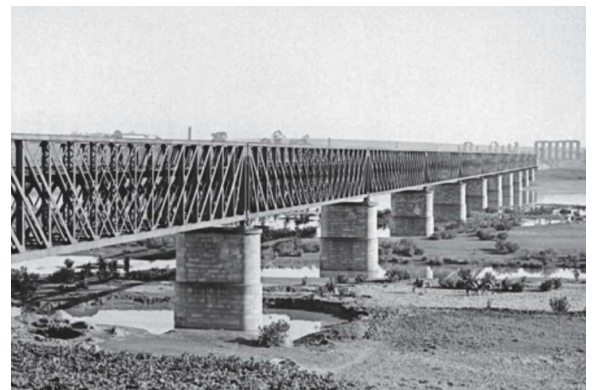
Puente metálico de once tramos, formado por viga de celosía tipo "linville", apoyado sobre diez pilas y dos estribos de granito, con lados ligeramente curvos.

Dimensiones

Longitud total : 605 [m]
Luz libre: 55 [m]
Espesor pilas: 2,3 [m]
Altura máxima de la rasante: 5,75 [m]

CRONOLOGÍA

- En **1852** fue otorgada la primera concesión para la construcción de la línea férrea de Mérida a Sevilla, la cual caducó en **1866**.
- La segunda concesión fue realizada en **1869** y al igual que la anterior caducó.
- En **1873** por Orden de la República se presentó un nuevo proyecto que también caducó.
- En **1879** se inauguró la línea Mérida a Sevilla.
- En **1882** fue aprobada por el Rey Alfonso XII la construcción del puente de Hierro de Mérida.
- Durante **1883** la Compañía de los Ferrocarriles de Madrid a Zaragoza y Alicante se encargó de la construcción de la estructura.



Vista antigua puente de Hierro de Mérida
Fuente. www.spanishrailway.com

REPARACIONES

- **1925:** Se quiso sustituir los tramos metálicos por acero dulce o con arcos de hormigón, pero ninguno de los proyectos se llevó a cabo, conservándose con la estructura original.



Puente de Hierro de Mérida.
Fuente. www.pinterest.es

PUENTE DE HIERRO DE MÉRIDA

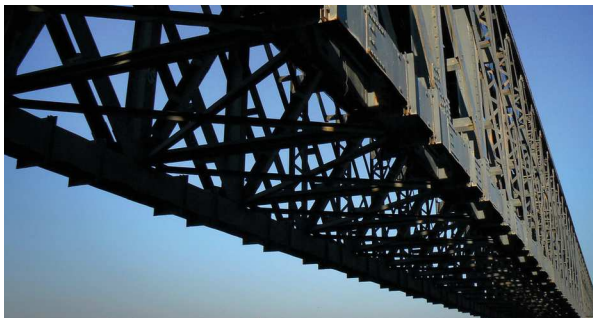
ESTADO ACTUAL Y USO

El puente de Hierro de Mérida aún conserva su estructura original con más de 135 años prestando servicio ferroviario. Es por esto y su gran importancia para la ciudad, que la Asociación Extremeña de Amigos del Ferrocarril solicitó que se inicien los trámites para declararlo Bien de Interés Cultural.

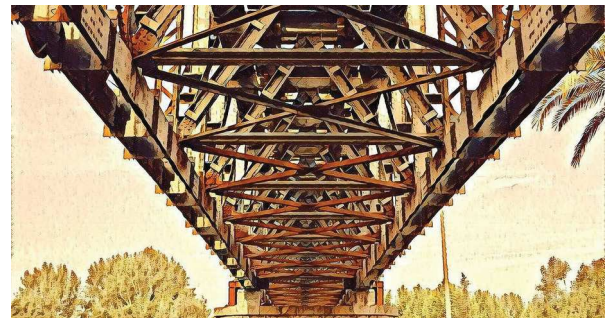
VISTA PUENTE DE HIERRO DE MÉRIDA.



Fuente. www.fotoludica.es



Fuente. www.flickr.com



Fuente. www.pinterest.es



Fuente. www.rtve.es



Fuente. senior.unedmerida.com

ACS. Aguiló, Miguel. 2007. El carácter de los puentes españoles. Madrid. España.

Hoy. 2013. El puente de Willian Finch cumple 130 años [online]. Disponible en <https://www.hoy.es/v/20131208/merida/puente-willian-finch-cumple-20131208.html>

Hoy. 2018. Solicitan que el Puente de Hierro de Mérida sea declarado Bien de Interés Cultural [online]. Disponible en <https://www.hoy.es/merida/solicitan-puente-hierro-20181215003618-ntvo.html>

UNED. 2016. El <<puente de hierro>> del ferrocarril de Mérida [online]. Disponible en <https://senior.unedmerida.com/?p=743>
Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Visor SigPac [online]. Disponible en <http://sigpac.mapa.es/fega/visor/>



VIADUCTO DE PONTEVEDRA

LOCALIZACIÓN

Villa pontevedresa, Redondela
Provincia de Pontevedra
Comunidad autónoma de Galicia
Salva Valle de Redondela
Línea férrea Redondela-Pontevedra

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Descripción tipológica

Viaducto de hierro de diez vanos sobre arcos de sillería en los extremos de la estructura y tres vanos formado por vigas de celosía, apoyado sobre dos pilas de hierro.

Dimensiones

Longitud total : 250 [m]
Luz libre: 57,5 [m]
Anchura tablero: 5 [m]
Altura máxima de la rasante: 26,5 [m]

CRONOLOGÍA

- El proyecto del viaducto de Pontevedra estuvo a cargo del ingeniero y arquitecto Mariano Cardena Ponzán.
- La fabricación y montaje del viaducto la realizó la compañía Maquinista Terrestre y Marítima de Barcelona.
- El viaducto fue inaugurado en 1884.



Vista antigua viaducto de Pontevedra (1920)
Fuente. www.farodevigo.es

REPARACIONES

Reparaciones recientes

- **2012:** Se realizó una de las mantenencias periódicas.
- **2017-2019:** Se realizaron trabajos de mantenimiento y refuerzo del viaducto, para adaptarlo a las nuevos requerimientos de la vía, trabajos que finalizaron con el repintado de la estructura de color verde oscuro.



Viaducto de Pontevedra después de ser repintado.
Fuente. www.farodevigo.es

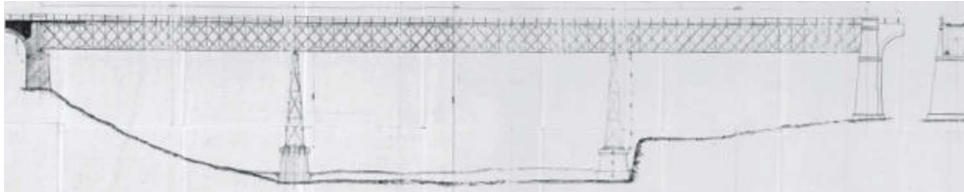
ESTADO ACTUAL Y USO

Actualmente el viaducto de Pontevedra se encuentra en muy buen estado y continua prestando servicio a los diferentes trenes que circulan por la vía.

Se abrió un expediente para que fuera declarado Bien de Interés Cultural en 1978 que aún no se ha resuelto.

VIADUCTO DE PONTEVEDRA

VISTA EN ALZADO PROYECTO VIADUCTO DE PONTEVEDRA



Fuente. Merico de Cos, Rafael. 2015.

VISTA ACTUAL TRAMO DE HIERRO VIADUCTO DE PONTEVEDRA



Fuente. www.vigoenfotos.com

VISTA ACTUAL ARCOS DE SILLERÍA VIADUCTO DE PONTEVEDRA



Fuente. www.turismo.gal

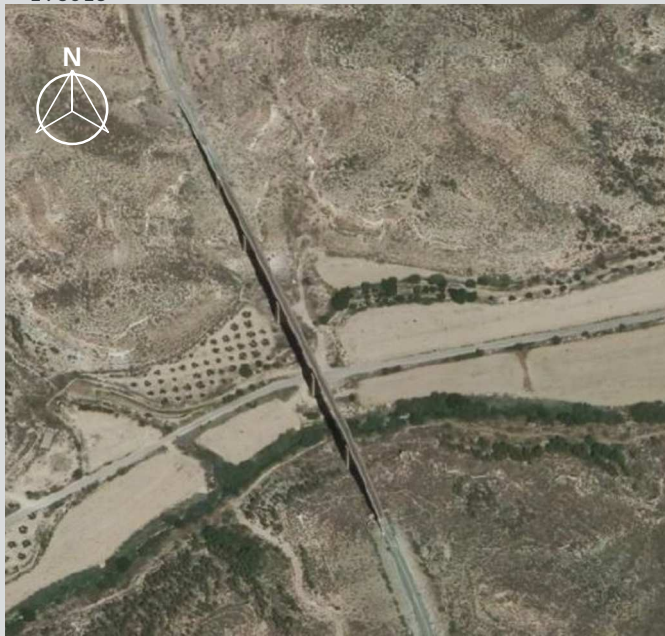
Merico de Cos, Rafael. 2015. Los ingenieros arquitectos, Mariano Carderera Ponzán y el puente de Redondela. Madrid. España.

Guíate Galicia. 2017. Redondela y su puente metálico [online]. Disponible en <https://www.guiategalicia.com/redondela-puente-metalico/>

Wikipedia. 2019. Viaducto de Pontevedra [online]. Disponible en https://es.wikipedia.org/wiki/Viaducto_de_Pontevedra

Pinacho, Antonio. 2017. El “viaducto de Pontevedra” estará un año en obras para un mantenimiento integral. Faro de Vigo. Disponible en <https://www.farodevigo.es/comarcas/2017/04/06/viaducto-pontevedra-estara-ano-obras/1655636.html>

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Visor SigPac [online]. Disponible en <http://sigpac.mapa.es/fega/visor/>



VIADUCTO DE ANCHURÓN

LOCALIZACIÓN

Entre las localidades de Huélago y Benalúa
Provincia de Granada
Comunidad autónoma de Andalucía
Sobre carretera de Belerda
Línea férrea Linares-Almería

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Descripción tipológica

Viaducto de hierro de cinco vanos formados por celosías múltiples tipo Linville, apoyado sobre cuatro pilas de fábrica de sillería y estribos. El estribo del lado de Linares esta compuesto de tres arcos de medio punto. Además tenía dos aceras en voladizo antes de la restauración.

Dimensiones

Longitud total : 320 [m]

Luz libre: 55,2 [m]

Anchura tablero: 4,7 [m]

Altura máxima de la rasante: 45 [m]

CRONOLOGÍA

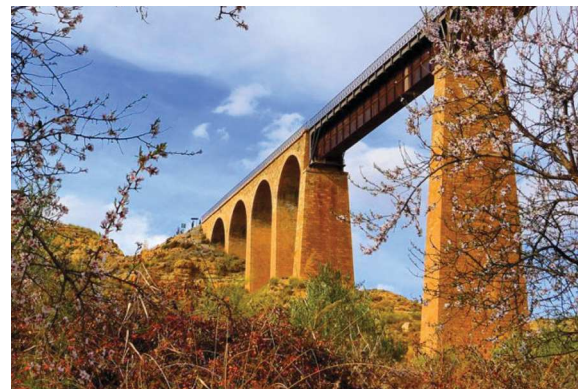
- La Compañía de los Caminos de Hierro del Sur se adjudicó la concesión de la línea férrea en **1889** y contrató a la empresa Fives-Lille para la construcción.
- El viaducto de Anchurón fue construido entre **1893** y **1895**.



Vista viaducto de Anchurón
Fuente. Calvo, 2006

REPARACIONES

- **La década de los 70:** Juan Botanero estuvo encargado de sustituir las vigas de celosía por vigas cajón de acero resistente a la corrosión para aumentar la capacidad del viaducto.



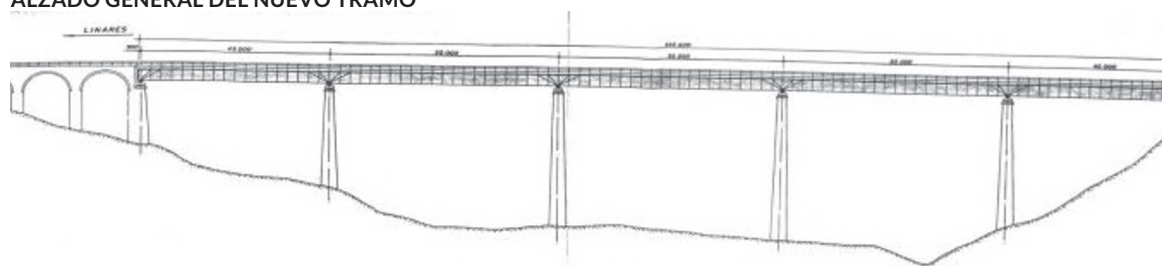
Viaducto de Anchurón con viga cajón
Fuente. www.asafal.es

ESTADO ACTUAL Y USO

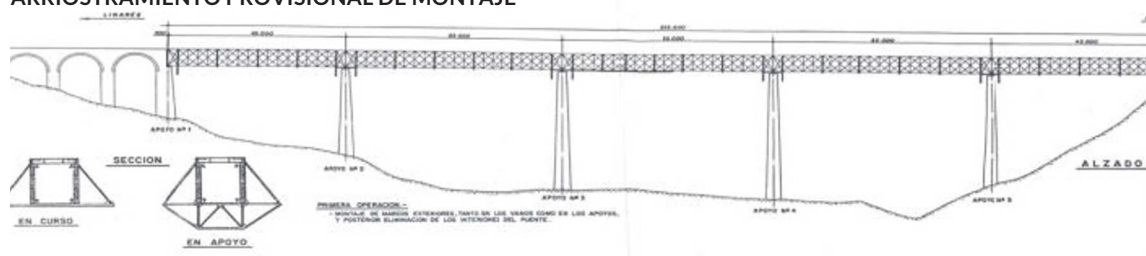
Actualmente el viaducto de Anchurón presta un servicio de forma regular y es mantenido por Renfe.

VIADUCTO DE ANCHURÓN

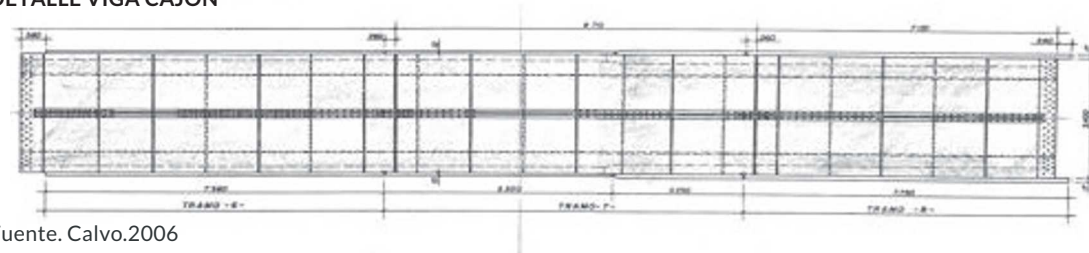
ALZADO GENERAL DEL NUEVO TRAMO



ARRIOSTRAMIENTO PROVISIONAL DE MONTAJE



DETALLE VIGA CAJÓN



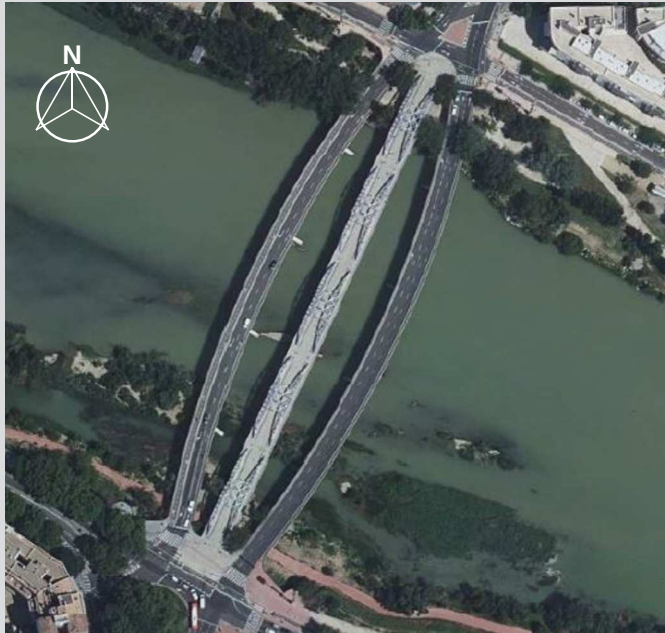
Fuente: Calvo.2006

Instituto Geográfico Nacional. 2019. Cartografía y Datos geográficos [online]. Disponible en <https://www.ign.es/web/cbg-area-cartografia>

Wikipedia. 2016. Puente del Anchurón [online]. Disponible en https://es.wikipedia.org/wiki/Puente_del_Anchur%C3%B3n

Calvo Poyo, Francisco. De Oña López, Juan. 2006. Metamorfosis del puente del Anchurón en la línea Linares-Almería. Málaga. España.

Hernández, Santiago. Durán, Manuel. Chías, Pilar. 2009. Puentes de España. Tránsito de culturas. Barcelona. España.



PUENTE DE HIERRO DE ZARAGOZA

Puente de Nuestra
Señora del Pilar

LOCALIZACIÓN

Provincia de Zaragoza
Comunidad autónoma de Aragón
Río: Ebro
Une la avenida Puente del Pilar con la calle
del Coso y el paseo Echegaray y Caballero

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Descripción tipológica

Puente de hierro laminado de cinco vanos
formado por vigas bowstring y un tablero
inferior.

Dimensiones

Longitud total : 260 [m]
Luz libre: 42,34 [m]
Anchura tablero: 10 [m]
Altura máxima de la rasante: 10 [m]

CRONOLOGÍA

- El proyecto fue realizado durante **1886** por los ingenieros Antonio Fernández de Navarrete y Vicente Rasca Melus.
- La construcción estuvo a cargo de la empresa española La Maquinista Terrestre y Marítima, la cual finalizó en **1895**.

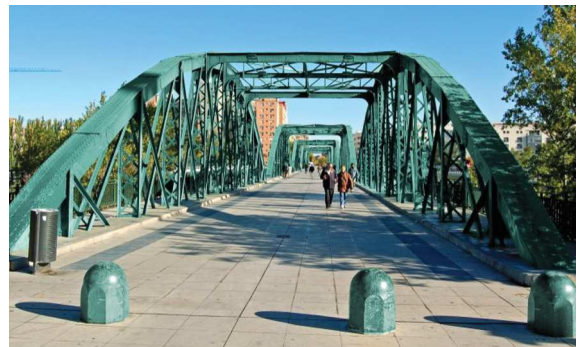


Vista antigua Puente de Hierro de Zaragoza.

Fuente. www.zaragozaayeryhoy.com/tag/puente-de-hierro/

REPARACIONES

- **1991**: El puente es remodelado por Javier Manterola. La remodelación consistió en reparar y pintar la estructura metálica del puente y agregar a los costados dos tableros para el tránsito de vehículos, convirtiendo el puente en peatonal.



Puente de Hierro de Zaragoza después de la remodelación .

Fuente. www.zaragoza.es/puente_peatonalverde.htm

Reparaciones recientes

- **2010**: El puente es repintado para prevenir la corrosión de color azul y blanco.



Puente de Hierro de Zaragoza repintado.

Fuente. www.zaragozago.com/puentes/hierro/

PUENTE DE HIERRO DE ZARAGOZA

Puente de Nuestra
Señora del Pilar

ESTADO ACTUAL Y USO

Actualmente el Puente de Nuestra Señora del Pilar sigue en funcionamiento para tránsito peatonal.

Según el Plan General de Ordenación Urbana de Zaragoza es considerado Bien de Interés Arquitectónico categoría A.

VISTA ACTUAL PUENTE DE HIERRO DE ZARAGOZA



Fuente. es.wikipedia.org/wiki/Puente_de_Nuestra_Se%C3%B1ora_del_Pilar

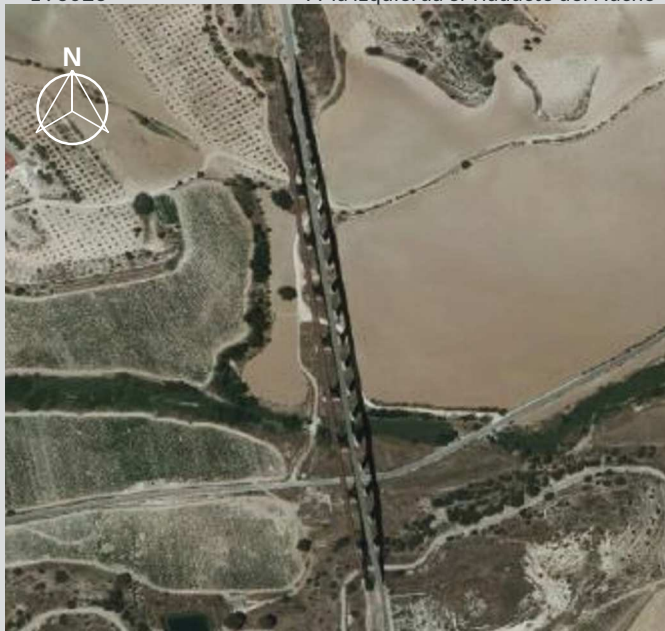


Fuente. www.puentemania.com/613



Fuente. www.tenzaragoza.es/2017/06/16/la-ola-calor-durara-una-semana-mas/

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Visor SigPac [online]. Disponible en <http://sigpac.mapa.es/fega/visor/>
Hernández, Santiago. Durán, Manuel. Chías, Pilar. 2009. Puentes de España. Tránsito de culturas. Barcelona. España.
Zaragoza Turismo. 2019. Puente de hierro o Puente del Pilar [online]. Disponible en http://www.zaragoza.es/ciudad/turismo/es/que-visitad/detalle_Monumento?id=83
Wikipedia. 2019. Puente de Nuestra Señora del Pilar [online]. Disponible en https://es.wikipedia.org/wiki/Puente_de_Nuestra_Se%C3%B1ora_del_Pilar



VIADUCTO DEL HACHO

LOCALIZACIÓN

Entre los municipios de Alamedilla y Guadahortuna

Provincia de Granada

Comunidad autónoma de Andalucía

Río: Guadahortuna

Línea férrea 410 de Adif de Linares-Baeza a Almería

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Descripción tipológica

Viaducto de hierro de tres tramos con una pasarela bajo el tablero. El tramo central de ocho vanos formado por una viga del tipo Linville apoyada sobre siete pilas de hierro. Los tramos extremos están formados por vigas de tipo cruz de San Andrés, el lado de Linares esta compuesto por tres vanos, mientras que el lado de Almería solo uno, ambos tramos apoyados sobre pilas de fábrica de piedra y en los extremos del viaducto de estribos de fábrica de piedra.

Dimensiones

Longitud total : 624,6 [m]

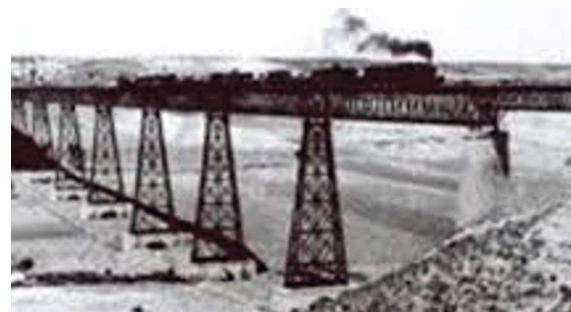
Luz libre: 60,7 [m]

Anchura tablero: 4,7 [m]

Altura máxima de la rasante: 49,85 [m]

CRONOLOGÍA

- El proyecto y construcción del viaducto del Hacho fue encargado por la Compañía Five-Lille al estudio de Gustave Eiffel, el cual fue terminado a principio de **la década de 1890**.
- La construcción del viaducto finalizó a finales de **1897**.
- El viaducto fue puesto en servicio en **1898**.



Vista antigua del viaducto del Hacho

Fuente: clubcabraloca.es

ESTADO ACTUAL Y USO

El viaducto del Hacho concluyó su servicio en **1974** cuando fue inaugurado el puente de hormigón pretensado emplazado a su costado. La decisión de construir un nuevo viaducto en vez de modificar la estructura del viaducto del Hacho, fue motivada por la dificultad y el alto costo que suponía la adecuación del viaducto de hierro a los nuevos requisitos de la vía férrea.

Debido a su desuso en **1978** se decidió su derrumbe, pero la comunidad lo impidió debido a su gran importancia en la zona, formando en **2004** la Plataforma "Puente del Hacho" la cual busca su rehabilitación, conservación y puesta en valor.

Finalmente en **2008** ADIF cedió el puente a los Ayuntamientos de Alamedilla y Guadahortuna.

Inició el proceso para ser declarado como Bien de Interés Cultural, pero aún no se ha resuelto.



Viaducto del Hacho y viaducto de hormigón pretensado

Fuente: waste.ideal.es

VIADUCTO DEL HACHO

VISTA ACTUAL VIADUCTO DEL HACHO

VÍA SIN RIELES



Fuente. www.ideal.es

UNIÓN



Fuente. www.rutasserrasegura.org

PASARELA



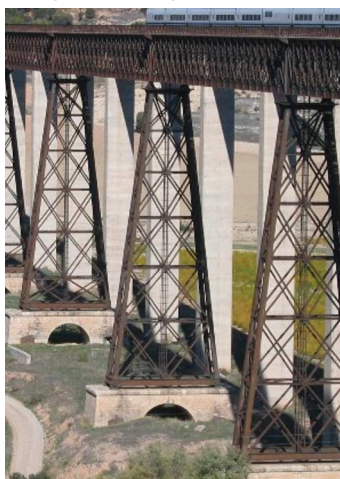
Fuente. www.rutasserrasegura.org

APOYO DE PILA DE HIERRO



Fuente. www.rutasserrasegura.org

PILAS DE HIERRO



Fuente. www.cemosa.es

PILA DE PIEDRA



Fuente. www.turgranada.es

Molina Cobos, Casimiro. 2005. De parte a parte Apuntes históricos y técnicos del los puentes del Salado y del Hacho. Contraluz: Revista de la Asociación Cultural Arturo Cerdá y Rico, ISSN: 1698-8817, págs. 77-88

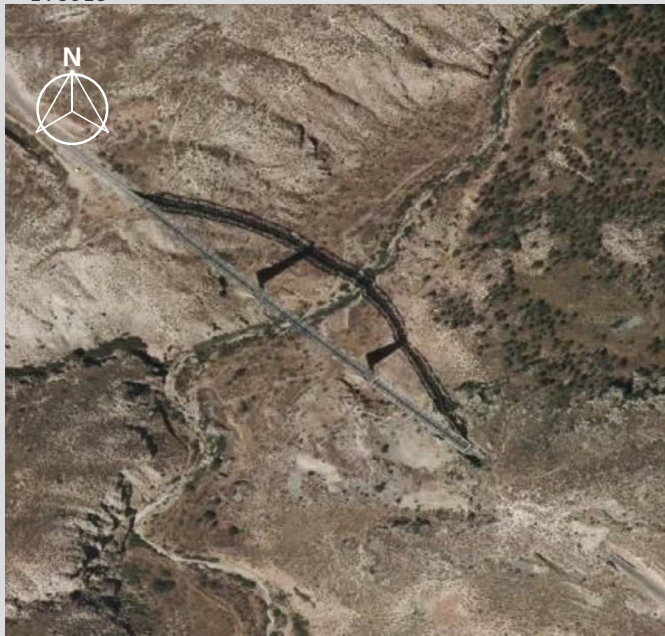
Cervantes Pinelo, Francisco. 1897. Línea férrea de Linares a Almería. Revista de Obras Públicas. tomo II (1149): 365-368.

Ferropedia. 2015. Puente del Hacho [online]. Disponible en http://www.ferropedia.es/mediawiki/index.php/Puente_del_Hacho

Waste Megazine. 2014. Puente del Hacho. Senderos de hierro [online]. Disponible en <https://waste.ideal.es/puentedelhacho.htm>

Wikipedia. 2019. Puente del Hacho [online]. Disponible en https://es.wikipedia.org/wiki/Puente_del_Hacho

Instituto Geográfico Nacional. 2019. Cartografía y Datos geográficos [online]. Disponible en <https://www.ign.es/web/cbg-area-cartografia>



VIADUCTO DEL SALADO

Puente de Arroyo Salado

LOCALIZACIÓN

Comarca de Sierra Mágina, en el municipio de Cabra del Santo Cristo
Provincia de Jaén
Comunidad autónoma de Andalucía
Río: Salado
Línea férrea de Linares-Almería

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Descripción tipológica

Viaducto metálico de tres vanos, formado por vigas de doble alma apoyada sobre dos pilas de fábrica de forma piramidal y un estribo aligerado con un arco de medio punto al lado izquierdo, ya que en el lado derecho se apoya directamente sobre la roca en donde empieza un túnel. Además en el entramado inferior existía una pasarela para mantenimiento.

Dimensiones

Longitud total : 318 [m]

Luz libre: 105 [m]

Espesor pilas: 4 [m]

Altura máxima de la rasante: 110 [m]

CRONOLOGÍA

- En **1896** el ingeniero José Olano diseñó el proyecto del Viaducto del Salado para la Línea Linares-Almería.
- La Compañía de los Caminos de Hierro del Sur de España fue la encargada de la construcción de la estructura a cargo de los ingenieros Basinski, Guerin y Shule.
- La línea fue puesta en servicio en **1899**.



Inauguración del viaducto el Salado
Fuente: cabradelsantocristo.org

REPARACIONES

- **La década de los 60:** Se reforzó la estructura para que pudiera soportar un mayor peso.
- **1976:** El tablero fue sustituido por uno de acero, eliminando la pasarela inferior y las pilas fueron engrosadas con hormigón.



Vista antigua viaducto del Salado.
Fuente: cabradelsantocristo.org

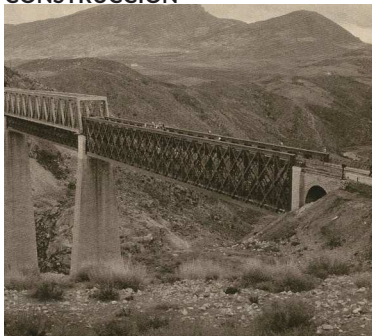
ESTADO ACTUAL Y USO

El viaducto del Salado actualmente continua prestando servicio al tránsito férreo.

VIADUCTO DEL SALADO

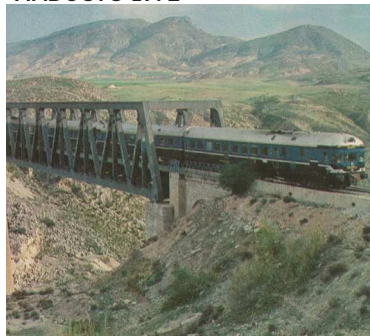
Puente de Arroyo Salado

VIADUCTO DURANTE CONSTRUCCIÓN



Fuente. www.minasdealmeria.es

VIADUCTO 1972



Fuente. www.minasdealmeria.es

VIADUCTO ACTUALMENTE



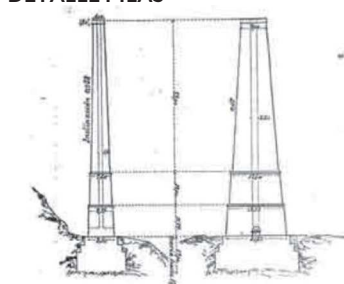
Fuente. tomato.to

DETALLE ESTRIBO LINARES



Fuente. www.minasdealmeria.es

DETALLE PILAS



Fuente. www.minasdealmeria.es

DETALLE ESTRIBO ALMERÍA



Fuente. www.minasdealmeria.es

VISTA ACTUAL ESTRIBO LINARES



Fuente. abriendohoyblog.blogspot.com

VISTA ACTUAL PILAS



Fuente. boltes.com.es

VISTA ACTUAL ESTRIBO ALMERÍA



Fuente. abriendohoyblog.blogspot.com

Cabra el Santo Cristo. Viaducto del Salado [online]. Disponible en <https://cabradelsantocristo.org/monumentos/viaducto-del-salado/>
 Museo del Ferrocarril de Madrid. 2013. Viaducto metálico sobre el río Salado en la Línea de ferrocarril de Linares-Almería [online]. Disponible en https://www.museodelferrocarril.org/archivoybiblioteca/pieza_archivo.asp?item=20

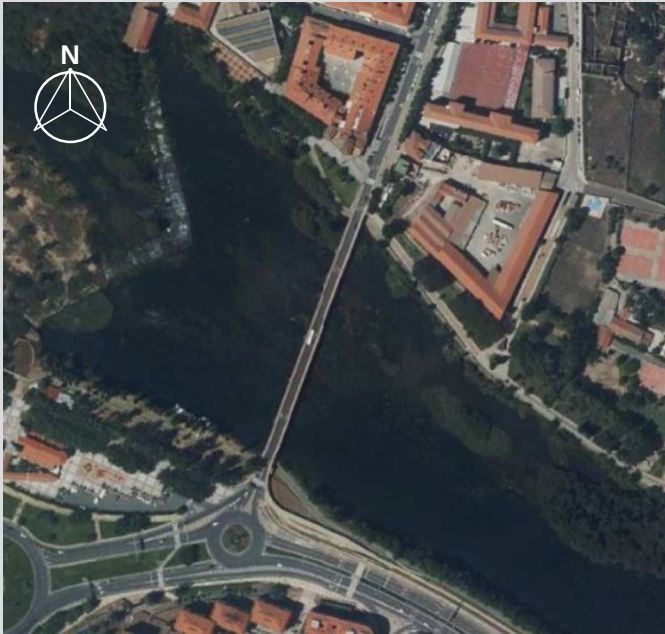
Patrimonio y Turismo Industrial en Andalucía Oriental. 2007. Puente del Salado (Cabra de Santo Cristo) [online]. Disponible en <http://www.minasdealmeria.es/ptiao/ja-003.html>

Orgullososdejaén. 2017. El Puente de Arroyo Salado, una joya de la ingeniería civil española [online]. Disponible en <https://orgullososdejaen.es/2013/07/el-puente-de-arroyo-salado-una-joya-de-la-ingenieria-espanola/>

Instituto Geográfico Nacional. 2019. Cartografía y Datos geográficos [online]. Disponible en <https://www.ign.es/web/cbg-area-cartografia>

Molina Cobos, Casimiro. 2008. Construcción del Viaducto del Salado. Referencias en la prensa escrita de la época. Contraluz: Revista de la Asociación Cultural Arturo Cerdá y Rico, ISSN 1698-8817, N.º 5, 2008, págs. 308-326

Berbel Silva, Javier. López Rodríguez, Ramón. 2004. Cabra del Santo Cristo, 105 años de ferrocarril. Revista Contraluz N.º 1



PUENTE DE ENRIQUE ESTEVAN

Puente Nuevo

LOCALIZACIÓN

Provincia de Salamanca
Comunidad autónoma de Castilla y León
Río: Tormes
Se encuentra ubicado al sur del centro urbano de Salamanca

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Descripción tipológica

Puente metálico de seis arcos adornados con motivos de hojas y flores en las vigas exteriores, apoyados sobre dos estribos y cinco pilas de fábrica de granito.

Dimensiones

Longitud total : 220 [m]
Luz libre: 33 [m]
Anchura tablero: 10 [m]

CRONOLOGÍA

- Fue diseñado por el ingeniero Saturnino Zúñiga y Goicoechea durante 1898 y aprobado en 1901.
- En 1902 se comenzó la construcción a cargo de la constructora Duro Felguera.
- El puente de Enrique Estevan fue inaugurado en 1913.



Vista antigua Puente de Enrique Estevan
Fuente. salamancartvaldia.es

REPARACIONES

- 1931: El puente de Enrique Estevan fue repintado

Reparaciones recientes

- 2012: Fue sometido a una rehabilitación, que consistió en la limpieza de la sillería y la estructura metálica, se sustituyó la acera y se reparó y repintó la estructura metálica.



Vista actual Puente de Enrique Estevan.
Fuente. www.hotelhelmantico.com

PUENTE DE ENRIQUE ESTEVEAN

Puente Nuevo

ESTADO ACTUAL Y USO

Fue reabierto al tráfico luego de la rehabilitación que sufrió en 2013.

En 2019 fue declarado Bien de Interés Cultural debido a su gran valor social.

VISTA ACTUAL PUENTE DE ENRIQUE ESTEVAN



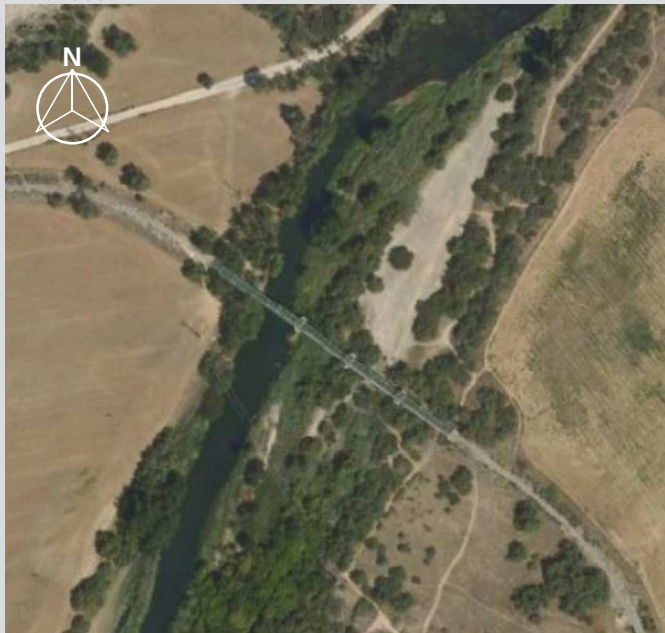
Fuente. salamancabuenasnoticias.com



Fuente.ingenieria-civil.org



Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Visor SigPac [online]. Disponible en <http://sigpac.mapa.es/fega/visor/>
La Gaceta. 2019. El puente Enrique Estevan, declarado BIC por la Junta [online]. Disponible en <https://www.lagacetadesalamanca.es/hemeroteca/puente-enrique-estevan-declarado-bic-junta-FTGS164643>
Helmántico Hotel. 2013. El Puente de Enrique Estevan en Salamanca [online]. Disponible es <http://www.hotelhelmantico.com/464/blog-salamanca/el-puente-de-enrique-estevan-en-salamanca.aspx>
Salamanca tierra mía. 2013. Puente de Enrique Estevan [online]. Disponible en <https://salamancatierramia.blogspot.com/2013/10/puente-de-enrique-estevan.html>



PUENTE DE ARGANDA

LOCALIZACIÓN

Provincia de Madrid
Comunidad autónoma de Madrid
Río: Jarama
Vía Nacional III

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Descripción tipológica

Puente de hierro y pilas de sillería, compuesto por tres tramos de vigas parabólicas fijadas con roblones.

Dimensiones

Longitud total : 162,5 [m]

Espesor pilas: 1,25 [m]

CRONOLOGÍA

- Durante **1884** el ingeniero Enrique Calleja redacta el proyecto.
- En **1905** la Dirección General de Obras Públicas saca a subasta pública la construcción del puente, siendo adjudicado a Manuel Victoria de Lecea.
- En **1910** se inaugura el puente de hierro.

REPARACIONES

Sufrió una reconstrucción producto del deterioro causado durante la batalla de Jarama en la Guerra Civil Española.



Puente de Arganda durante la Guerra Civil Española
Fuente. www.rivasactual.com

ESTADO ACTUAL Y USO

Actualmente el Puente de Arganda se encuentra cerrado al tráfico, debido a la construcción de un puente de hormigón de mayores dimensiones en **1964**.

A causa de su gran importancia histórica, es un paso frecuentado por turistas.

Es considerado bien con protección específica de Bien de Interés Patrimonial (BIP).



Construcción del nuevo puente en la Carretera de Valencia. 1963. Fuente, Paisajes Españoles.

PUENTE DE ARGANDA

VISTA ACTUAL PUENTE DE ARGANDA



Fuente. fotonazos.es

Fotonazos. 2015. El Puente de Hierro de Arganda [online]. Disponible en <https://www.fotonazos.es/2015/02/el-puente-de-hierro-de-arganda/>

Centro El Campillo. 2015. El Puente de Arganda: historia en el Parque Regional del Sureste [online]. Disponible en <https://centrocampillo.wordpress.com/2015/05/07/el-puente-de-arganda-historia-en-el-parque-regional-del-sureste/>

Wikipedia. 2018. Puente de Arganda [online]. Disponible en https://es.wikipedia.org/wiki/Puente_de_Arganda

Arganda del Rey. 2010. Un símbolo centenario. El Puente de Arganda cumple 100 años [online]. Disponible en <http://archivo.ayto-arganda.es/archivo/biblio/PDF/DP02360001.pdf>

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Visor SigPac [online]. Disponible en <http://sigpac.mapa.es/fega/visor/>

3. INTERVENCIÓN EN PUENTES DE HIERRO CON VALOR CULTURAL

3. INTERVENCIÓN EN PUENTES DE HIERRO CON VALOR CULTURAL

La mayor parte de los puentes de hierro construidos durante el siglo XIX dejaron de ser utilizados a causa de la evolución de los requerimientos del tránsito, en donde la solución más común es la construcción de nuevas estructuras quedando los puentes de hierro abandonados y en desuso, siendo inevitable su deterioro. Otra solución es la intervención sobre ellos, con objetivos como que el puente pueda seguir siendo utilizado con los estándares actuales y/o que conserve o recupere su valor histórico, aunque se debe tener en cuenta que las intervenciones sobre los puentes históricos pueden ser positivas o negativas, según el resultado que se obtenga.

Existen tres tipos de intervenciones a los puentes históricos, según el objetivo que se busca [20]:

1. Para adaptarlos a las nuevas necesidades funcionales.
2. Reparaciones, reconstrucciones o restauraciones, para asegurar su supervivencia.
3. Sustituciones por nuevos puentes.

En este capítulo se abarcará la segunda clasificación de restauración de la estructura, la cual busca evitar mayores deterioros o conservar o recuperar sus valores monumentales, aunque no siempre resulta positivo debido a que su mayor problema es el gran contraste que puede quedar entre la parte vieja y la nueva del puente.

3.1. CONTEXTO NORMATIVO

En España la realidad es que la protección cultural a las obras públicas es muy limitada, debido a que no existen instrumentos normativos específicos que, atendiendo a su identidad y peculiaridades, permitan su adecuada salvaguarda. Las escasas obras de ingeniería que han sido declaradas bien de interés cultural lo son debido a su dimensión histórica o artística, por su consideración monumental, por vincularse a una zona arqueológica o conjunto histórico, pero no atendiendo a sus rasgos determinantes (escala, papel en la construcción histórica del territorio, tecnología, etc.).

Una de las normativas vigentes en España de declaración y protección es la Ley del Patrimonio Histórico de 1985, que se redactó siguiendo las recomendaciones establecidas por la UNESCO en 1972 contenidas en el texto de la “Convención para la protección del patrimonio mundial cultural y natural”. Esta ley ha servido de marco jurídico a las leyes autonómicas promulgadas desde 1990, en virtud del traspaso de competencias del Estado a las Comunidades Autónomas que establece la Constitución Española. Esta Ley, en revisión,

estableció una definición de patrimonio amplia y relativamente novedosa, y clasificó los bienes inmuebles en cinco categorías diferentes:

- Monumentos
- Jardín histórico
- Conjunto histórico
- Sitio histórico
- Zona arqueológica

En la primera categoría de “monumentos” es donde se da cabida a las obras públicas, ya que son definidos como *“bienes inmuebles que constituyen realizaciones arquitectónicas o de ingeniería”* [23]. Por esta razón las obras de ingeniería civil que se declararon o incorporaron con anterioridad a la existencia de legislación autonómica han quedado catalogadas como “monumentos”. Un ejemplo de ello es el puente de Alcántara (Extremadura). Alguna, pocas, de las que se han tramitado conforme a la legislación cultural de cada Comunidad Autónoma se han acogido también a las categorías de “conjunto histórico”, como es el caso del Canal de Castilla en Castilla-León o a las de “zona arqueológica” como el abastecimiento de agua a Calahorra en La Rioja.

Las diferentes leyes autonómicas y las obras públicas que cada región ha protegido y en qué manera lo hace puede consultarse en el portal documental del patrimonio cultural (www.todopatrimonio.com).

Como se dijo anteriormente, al ser tan limitada la normativa cuando se proyecta la intervención en una obra pública de valor patrimonial, bien sea con finalidad de conservación, consolidación, refuerzo o renovación, no se dispone de una guía clara sobre cómo proceder, por lo que cuando se quiere disponer de un marco de referencia se suele recurrir a las Cartas de Restauo, que son un conjunto de acuerdos internacionales, cada una de ellas identificada con el nombre y la fecha de las ciudades en que se celebró el encuentro de expertos. En lo esencial plantean que la conservación y restauración de los bienes culturales declarados está sujeta a unas normas, a su vez sustentadas en acuerdos internacionales, con el objetivo de trabajar con criterios unitarios. En lo fundamental son normas pensadas para ordenar la intervención en el campo de los bienes arquitectónicos y no resulta fácil su traslación al ámbito de las obras públicas. Tampoco son de obligado cumplimiento, más bien se trata de recomendaciones que los diferentes estados soberanos han incluido, en diferente medida, en su propia legislación cultural, pasando de esta forma a ser de cumplimiento obligatorio cuando se intervienen bienes protegidos.

De especial relevancia fue la Carta de Atenas (1931), por varias razones: fue la base sobre la que se elaboraron leyes culturales en varios países de Europa, asentó el criterio de conservar con la mínima intervención posible, implicó a diferentes disciplinas científicas y tecnológicas para que pusieran sus saberes al servicio del estudio de las construcciones con interés

cultural, y definió un concepto de restaurar basado en un conocimiento amplio y previo del bien que sustentase una mínima intervención, que debe ser rigurosa y contribuir a la inteligibilidad del patrimonio.

En el portal del Ministerio de cultura y deporte, se pueden encontrar los “Documentos nacionales e internacionales sobre criterios de intervención” los cuales constituyen los documentos que marcan el camino en una intervención (<https://ipce.culturaydeporte.gob.es/conservacion-y-restauracion/documentos-nacionales-internacionales.html>).

3.2. DETECCIÓN DE PROBLEMAS Y PLANIFICACIÓN DE ACTUACIONES

Como cualquier proyecto de restauración, el primer paso es realizar una evaluación estructural que nos permita comprobar la funcionalidad y seguridad del puente, siempre basándose en la información que se tenga del proyecto, como por ejemplo de los planos. Mediante esta evaluación se deberá identificar el estado de los elementos principales de la estructura, identificando los problemas que afectan a cada elemento, para poder determinar las actuaciones que se deben llevar a cabo.

La inspección visual de la estructura permite conseguir una estimación de daños, identificando el tipo de daño y su extensión. A continuación, se hablará de alguno de los principales problemas que pueden estar presente en este tipo de estructura:

- Debido a la materialidad de la estructura, el daño principal que se podrá encontrar es la corrosión, la que corresponde al deterioro y destrucción de un material debido a una reacción química, presentándose como perforaciones, fracturas, entre otras. Este tipo de deterioro resulta inevitable sin un mantenimiento continuo de la estructura, el cual, como se ha estudiado anteriormente rara vez se cumple, provocando grandes daños a la estructura.



Figura 3. 1. Puente de Hierro de Zamora con corrosión

Fuente. www.zamora24horas.com/

- Otro problema es la acumulación de cargas muertas sobre la estructura, especialmente debido a las nuevas capas de pavimento sobre el tablero del puente a lo largo de los años, pudiendo provocar grandes deformaciones en la estructura,

Cuando se finalice el proceso de evaluación se debe registrar todo en planos y fotografías, para poder definir las actuaciones a llevar a cabo.

Como se habló anteriormente, el principal problema de una estructura metálica es la corrosión, siendo importante que sea evitada desde que se comienza el proyecto. Pero debido a la antigüedad de estas estructuras y a la falta de mantenimiento sobre estas, el daño de la corrosión alcanza grandes áreas.

Algunas de las soluciones de restauración de estructuras metálicas pueden ser:

- Sustitución de elementos existentes en mal estado por la corrosión. Primero se debe realizar una limpieza y sustitución de los elementos dañados. La limpieza consistirá en chorreado o bien raspado y cepillado a fondo con cepillo de discos y la aplicación pintura protectora como resinas epoxi, teniendo siempre la precaución de tomar las medidas adecuadas de protección del entorno, evitando la contaminación del suelo o el río con los restos de material.

- Incremento de las dimensiones de la estructura, ya sea para aumentar la sección resistente de los perfiles, reducir la esbeltez de las pilas para evitar el pandeo, incrementar las alas y almas de las vigas

- Refuerzo de las uniones, por ejemplo, si existen problemas de rigidez, esta puede ser aumentada con elementos como escuadras. Si son uniones con pernos se debe verificar la distancia entre pernos, pudiéndose aumentar el diámetro de ellos, aumentar la cantidad, etc. En uniones soldadas se debe limpiar la unión y aumentar la longitud de la soldadura o agregar tornillos.

- Pintar los elementos metálicos. La pintura permite no solo ser una solución estética, sino también dar protección a la estructura, evitando la corrosión al funcionar como barrera física entorpeciendo la formación de pilas de corrosión. Primero se debe preparar la superficie eliminando cualquier elemento que dificulte el correcto anclaje de las capas de pintura, eliminando la pintura existente, el óxido, etc. Esto puede ser mediante decapado químico, limpieza mecánica mediante chorros abrasivo, cepillado manual, etc. Luego de esto se ponen las capas de protección que servirán como mecanismo de protección contra la corrosión, estas capas pueden ser:

- Capas inhibidoras de corrosión.
- Capas wash-primer para aumentar la capacidad de anclaje a la de acabado, además de su capacidad anticorrosiva

- Capas de pintura con carga de polvos metálicos para protegerlo de la corrosión o capas de recubrimiento metálico protectoras.

Finalmente, las capas de terminación buscan cumplir un objetivo específico, pueden ser:

- Capas contra el fuego.
- Capas de acabado estético.
- Capas contra rallados, etc.

3.3. ANÁLISIS DE CASO: EL PUENTE DE HIERRO DE LOGROÑO

El puente de Hierro de Logroño es un gran ejemplo de conservación y restauración, debido a su valor, tanto histórico, estético, simbólico, tecnológico, como funcional, además de ser un ejemplo pionero en España en la planificación de una intervención de renovación y rehabilitación. Es por ello por lo que también ha sido elegido para ilustrar la ponencia sobre *gestión y rehabilitación de vías de comunicación (puentes metálicos)* del Foro sobre Patrimonio Cultural de la Obra Pública (FPOP) que se celebrará en Madrid en octubre.

Conocido como “*el puente de hierro*” fue un proyecto impulsado por el político riojano e ingeniero de caminos Práxedes Mateo Sagasta y proyectado por el ingeniero Fermín Manso de Zúñiga. Su construcción se remonta al año 1881, y las piezas metálicas fueron construidas por la *Compañía Maquinista Terrestre y Marítima de Barcelona*. El puente consta de 11 vanos de 30 [m] de luz cada uno, apoyados sobre pilas formadas por columnas gemelas tubulares de palastro conteniendo hormigón hidráulico de 12,60 [m] de altura, lo que hace un total de 330 [m] de longitud, todavía el puente más largo de La Rioja.

La estructura está formada por perfiles roblonados de hierro pudelado forjado según un esquema de 2 grandes vigas laterales, formadas por cordones superior e inferior, montantes intermedios y diagonales en forma de cruz de San Andrés. A media altura se materializa el tablero que se apoya sobre un cajón reticulado también de perfiles que sirve a la vez para mantener la rigidez entre las vigas principales.

Por el exterior de las vigas principales vuelan dos aceras, referidas a la estructura principal por tornapuntas y acabadas con barandilla de hierro fundido. La anchura de la calzada es de 6,90 [m] entre caras interiores de vigas y la anchura total del puente es de 11 [m].

El proyecto de restauración del puente de Hierro de Logroño fue recopilado en el libro *El Puente de Hierro de Logroño* por José Miguel Mateo Valerio [24]. En síntesis, la intervención incluyó la limpieza y tratamiento de la parte de fábrica y de la estructura metálica, engrasado de los aparatos de apoyo, protección de la camisa metálica de las pilas, la reparación de la barandilla y la imposta y aplicación de una pintura de protección en toda la estructura. Para reducir la carga permanente se sustituyó el paso por una losa de hormigón ligero armado de acabado rayado. También se mejoró el drenaje superficial, y el firme de las aceras.

3.3.1. Actuación en la cimentación

Las pilas y estribos, dependiendo del material del que estén fabricados, pueden presentar diferentes problemas con el paso del tiempo, pero por lo general se pueden encontrar problemas de corrosión y socavación debido al constante contacto con el agua.

El puente de Hierro de Logroño está formado por pilas cilíndricas de hormigón hidráulico envuelto en planchas de hierro, por lo que en la solución que se optó para su restauración se buscó asemejarse a las características originales de la estructura.

- Primero se limpió el fondo del río en la zona próxima a la base de la estructura, esto se puede realizar mediante aspiradoras de aire comprimido.
- Para reforzar las pilas se efectuó un encofrado de sacos de hormigón alrededor de la base de las pilas para colocar hormigón de nivelación.
- Sobre esto se ubicó un encofrado metálico que rodeaba la pila y se rellenó con hormigón sumergido.

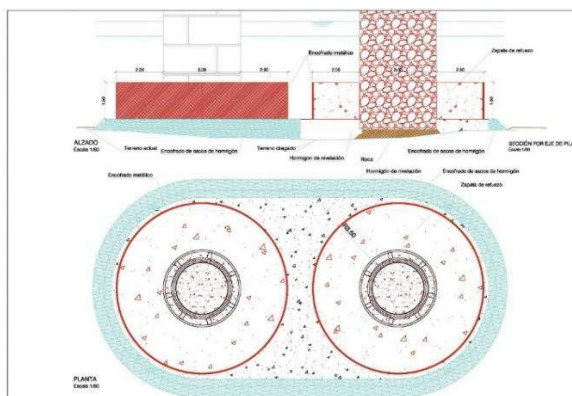


Figura 3. 2. Solución refuerzo de pilas puente de Hierro de Logroño
Fuente. Arrúe Ugarte (2011)



Figura 3. 3. Colocación de semitubo en la pila
Fuente. Arrúe Ugarte (2011)

3.3.2. Actuación en el tablero

El tablero del puente de Hierro de Logroño este compuesto por las vigas longitudinales y transversales, la losa, los apoyos, las barandillas y las uniones. Siendo las vigas artesas invertidas con ladrillos cerámicos entre sus alas.

- **Vigas, losa y apoyos.** Esta parte de la estructura de un puente puede esconder varios problemas que no se observan a simple vista, por lo que se debe tener en cuenta en el proyecto de restauración las posibles complicaciones. La restauración del puente de Hierro de Logroño no fue la excepción.

La idea original de la restauración contemplaba el aligeramiento del tablero reemplazando la losa por una de hormigón armado y la limpieza y engrasado de los apoyos, pero al retirar el material sobre las vigas se encontraron graves problemas de corrosión e incluso pérdida de sección, en los apoyos de los estribos se encontró corrosión y además deformación transversal en el estribo izquierdo, por lo que se debió ampliar el trabajo.

- Primero se retiraron los materiales que estaban sobre las vigas y se colocó un encofrado de chapa metálica plegada según la forma de la cara inferior para poder realizar una losa de hormigón armado, quedando las vigas transversales embebidas en la losa.



Figura 3. 4. Retirada del firme original

Fuente. Arrúe Ugarte (2011)

- En los apoyos intermedios se retiró el óxido y se engrasó todos los elementos de apoyo.
- Después de que se terminó la losa, se retiró la parte erosionada y deformada de los apoyos extremos, sustituyéndolas por vigas doble T, las cuales fueron unidas a la estructura original mediante tornillos.



Figura 3. 5. Hormigonado losa
Fuente. Arrúe Ugarte (2011)

- En el estribo derecho se apoyó las vigas sobre un sistema de chapas de acero inoxidable y almohadillas de teflón apoyadas sobre hormigón armado. En cambio, en el estribo izquierdo para solucionar la deformación transversal, se prolongaron las vigas longitudinales y se apoyaron sobre un nuevo estribo de hormigón que estaba al eje del tablero.
 - Para las aceras se construyó una losa de hormigón y se colocó un slurry superficial para aumentar el coeficiente de rozamiento, mejorar la visibilidad de la señalización horizontal y para que su aspecto se asemejara al del puente original.
 - En las veredas se realizó un tratamiento superficial antideslizante con coloración gris-azulada buscando imitar el color del hormigón de la época.
 - Finalmente se colocaron las juntas de dilatación.
- **Barandillas.** Las barandillas de la estructura de un puente son otro elemento muy importante en la restauración, tanto por la seguridad como porque son una de las partes más visibles, pudiendo albergar un sinfín de detalles. Al igual que otros elementos metálicos, sus principales problemas son la oxidación y erosión, debiendo sustituir elementos durante la restauración.

En el puente de Hierro de Logroño los trabajos sobre la barandilla se realizaron después de finalizar los trabajos en el tablero.

- ❖ Para comenzar se efectuó una limpieza de la estructura mediante medios mecánicos.
- ❖ Se sustituyó los tramos de la barandilla en mal estado.

- ❖ Luego se sustituyó los elementos de unión buscando siempre la semejanza con el resto de la estructura. En este caso, se reemplazaron los roblones por tornillos de cabeza semiesférica del mismo tamaño y se escondieron las tuercas.
- ❖ Se quitó la pintura existente mediante el sistema de chorro de agua sin aditivos, para que el río no fuera contaminado.
- ❖ Fueron rellenados todos los huecos en las barandillas originados por la oxidación de la estructura.



Figura 3. 6. Limpieza de la pintura mediante chorro de agua
Fuente. Arrúe Ugarte (2011)

3.3.3. Tratamiento final

El puente de Hierro de Logroño fue pintado con cuatro capas que se detallas a continuación:

- La primera capa fue de imprimación de epoxi-zinc, con un espesor de 100 micras, la cual sirve de protección mecánica y catódica.
- La segunda capa fue de epoxi-aluminio de 175 micras de espesor, esta capa elástica permite absorber las posibles deformaciones que se producen entre las capas.
- La tercera capa es de acabado con esmalte de poliuretano alifático de 50 micras de espesor, que tiene como característica la retención del brillo y color para un buen aspecto final por un largo periodo.



Figura 3. 7. Detalle de las tres capas de pintura

Fuente. Arrúe Ugarte (2011)

- Finalmente la cuarta capa solo se aplicó a aquellas zonas de fácil acceso como las pilas que están en el parque, las barandillas y la parte superior de las vigas principales, la cual consistió en un recubrimiento antivandálico de polixiloxano incoloro de alto brillo, el cual tiene un acabado de baja rugosidad que dificulta la adherencia de pintura y además presenta alta resistencia química lo que permite utilizar disolventes para retirar las pintadas.

Los colores elegidos en una restauración es un aspecto muy importante para tener en cuenta, prefiriendo siempre usar las tonalidades originales de la estructura. Esto se dificulta debido a que la pintura de esa época estaba compuesta por materiales que ya no se usan, por lo que es necesario realizar pruebas para conocer el RAL de la pintura y fabricarla, siempre y cuando quede pintura original de la estructura para realizarle estas pruebas. Si no es el caso se puede llegar a opciones y probarlas pintando directamente sobre la estructura para elegir la más adecuada.



Figura 3. 8. Restauración completa del puente de Hierro de Logroño
Fuente. Arrúe Ugarte (2011)

Tras la restauración del puente, terminada en 2009, las autoridades y técnicos de obras públicas del Servicio de Carreteras del Gobierno de la Rioja (www.larioja.org/carreteras) programaron una inauguración inusual. En el acto, nocturno para así poder estrenar la iluminación, la dirección de la obra explicó el alcance de la intervención, con sencillas pero rigurosas explicaciones técnicas del alcance de la intervención, contextualizadas en el significado del puente.

Si asumimos que la razón de ser del patrimonio cultural es que pueda ser disfrutado por todos [25], el caso del puente de Logroño es un buen ejemplo de gestión buscando la conciliación de lo funcional con lo patrimonial.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

A continuación, se presentaran las conclusiones fundamentales que se obtienen de esta investigación:

- ❖ Debido a que las normas que se encargan de proteger los bienes culturales inmuebles en España fueron pensadas esencialmente para cuidar de las construcciones del ámbito de la arquitectura, en ellas, las obras públicas no encuentran fácil encaje provocando que existan pocas obras protegidas y que la gestión de las que lo están sea muy compleja. Esto es lo que sucede con los puentes, en especial los que tienen menos antigüedad y/o están en uso, como es el caso de los metálicos aquí tratados.

En los puentes metálicos la ingeniería civil se encarga de asegurar su funcionalidad, conforme a los requerimientos actuales de tránsito, seguridad, etc. Pero esto no resulta suficiente si se quiere ser respetuosos con nuestro propio patrimonio, por lo que debemos formarnos en los conocimientos que nos den acceso a entender que lo construido tiene una vertiente cultural que también nos es propia (conceptos físicos, conocimiento de materiales, tecnología constructiva, responsabilidad de las obras públicas en la configuración del territorio y el paisaje, etc.) De este modo contribuiremos no solo a conservar y explotar las obras heredadas, también haremos que lleguen a la ingeniería del futuro.

- ❖ Lo estudiado en las páginas anteriores muestra lo importante que es disponer de información variada y lo más completa posible antes de programar una intervención en un puente con valor cultural, porque es un reto para la ingeniería civil conjugar el respeto por el patrimonio heredado con la funcionalidad y seguridad de cada obra. Para ello se propone que se tenga en cuenta lo siguiente, que está inspirado en los consejos que el Grupo de Puentes de la Asociación Técnica de Carreteras ofrece para la intervención en puentes de piedra:
 - Recopilación de toda la información técnica sobre el puente de modo que se pueda disponer de una historia clínica. Son de utilidad los datos procedentes de inspecciones.
 - Información general:
 - Topografía general, para conocer con precisión las dimensiones básicas (emplazamiento, planta, alzado).
 - Sondeos.
 - Tipo de tráfico y sistemas de contención.
 - Información geométrica:
 - Dimensiones de pilas, luces, canto, etc.
 - Geometría y tipo de cimentación.
 - Características de los hierros empleados (fundición, forjado, acero) y ubicación en el puente.

- Información mecánica:
 - Ensayos de resistencia.
- Información sobre el proceso constructivo.
- Establecer el interés patrimonial cultural de la obra, revisando todos los catálogos susceptibles de haber establecido una protección (administración nacional, autonómica, provincial, local). Si no existiese declaración, pero se sospecha, o se está seguro de su valor, hacer el esfuerzo de argumentar su valía y ponerlo en conocimiento de quien corresponda. En este supuesto será necesario localizar y comprender documentación histórica de carácter técnico (proyectos, expediente administrativo, documentación de conservación y explotación) así como cartografía a diferentes escalas, fotografías aéreas, fotografías convencionales y otras fuentes gráficas (dibujo, grabado, pinturas), además de información bibliográfica que permita contextualizar la obra.
- ❖ Aunque el concepto de patrimonio cultural en sí mismo y/o aplicado a las obras públicas no es demasiado diferente en cualquier parte del mundo, sí que hay diferencias en los instrumentos con los que se cuida. Sucede también que las construcciones de ingeniería nunca son independientes del territorio en que se asientan, cada lugar conserva la memoria de la solución que allí se tomó. Combinando estas tres ideas y pensando en una línea futura de trabajo en Chile mi país de origen, sería viable plantear un estudio, de similares características al aquí realizado, sobre los puentes metálicos del siglo XIX proyectados y construidos en Chile, buscando que se puedan poner en valor y sean conservadas de una manera adecuada a este.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

– Referencias

- [1] Aguiló, M. (2007). *El carácter de los puentes españoles*. Madrid: ACS.
- [2] Regalado Tesoro, F. (2010). *Apuntes personales de un ingeniero de caminos sobre la restauración del patrimonio monumental construido (el caso particular de los puentes)*. Valencia: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- [3] Fernández Ordóñez, J. (1995). Obras públicas y monumentos. *Revista de Obras Públicas*, 3347, 7-13.
- [4] Wikipedia. (2018). Galileo Galilei. (Extraído el 14 de diciembre de 2018 de: https://es.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei)
- [5] Wikipedia. (2018). Robert Hooke. (Extraído el 14 de diciembre de 2018 de: https://es.wikipedia.org/wiki/Robert_Hooke)
- [6] Wikipedia. (2018). Familia Bernoulli. (Extraído el 14 de diciembre de 2018 de: https://es.wikipedia.org/wiki/Familia_Bernoulli)
- [7] Wikipedia. (2018). Leonhard Euler. (Extraído el 14 de diciembre de 2018 de: https://es.wikipedia.org/wiki/Leonhard_Euler)
- [8] Wikipedia. (2018). Torsión mecánica. (Extraído el 14 de diciembre de 2018 de: https://es.wikipedia.org/wiki/Torsión_mecánica)
- [9] Wikipedia. (2018). Thomas Young. (Extraído el 14 de diciembre de 2018 de: https://es.wikipedia.org/wiki/Thomas_Young#M%C3%B3dulo_de_Young)
- [10] Wikipedia. (2018). Claude-Louis Henri Navier. (Extraído el 14 de diciembre de 2018 de: https://es.wikipedia.org/wiki/Claude-Louis_Henri_Navier)
- [11] Wikipedia. (2018). Adhémar Jean Claude Barré de Saint-Venant. (Extraído el 14 de diciembre de 2018 de: https://es.wikipedia.org/wiki/Adhémar_Jean_Claude_Barré_de_Saint-Venant)
- [12] Wikipedia. (2018). Carlo Alberto Castigliano. (Extraído el 14 de diciembre de 2018 de: https://en.wikipedia.org/wiki/Carlo_Alberto_Castigliano)
- [13] Wikipedia. (2018). Christian Otto Mohr. (Extraído el 14 de diciembre de 2018 de: https://es.wikipedia.org/wiki/Christian_Otto_Mohr)
- [14] Silva Suárez, M. (2011). *El Ochocientos. De los lenguajes al patrimonio*. Zaragoza: Real Academia de Ingeniería – Institución Fernando el Católico.
- [15] Hernández, M. (s.f). *El hierro en la construcción*. Barcelona: Ceac.

- [16] Grattasat, G. (1981). *Concepción de puentes: tratado general*. Barcelona: Editores Técnicos Asociados.
- [17] Fernández Troyano, L. (2004). *Tierra sobre agua. Visión histórica universal de los puentes*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- [18] Puentemania. (2011). Puentes (Extraído el 25 de septiembre de 2019 de: <http://www.puentemania.com/>).
- [19] Fernández Troyano, L. (2015). Estructura y forma de los puentes arco metálicos. *Revista de Obras Públicas*, 3561, 33-48.
- [20] Serna García, J. Rui-Wamba, J. (2006). *Los puentes del tren*. España: Fundación ESTEYCO.
- [21] Wikipedia. (2019). Jacob's Creek Bridge (Extraído el 5 de enero de 2019 de: [https://en.wikipedia.org/wiki/Jacob%27s_Creek_Bridge_\(Pennsylvania\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Jacob%27s_Creek_Bridge_(Pennsylvania))).
- [22] Navarro Vera, J. (2001). *El puente moderno en España 1850-1950*. Madrid: Fundación Juanelo Turriano.
- [23] Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español. Boletín Oficial del Estado, núm. 155, de 29 de junio de 1985. Recuperado de <https://www.boe.es/eli/es/l/1985/06/25/16/con>.
- [24] Arrúe Ugarte, M^a B. Fernández Troyano, L. Martínez Ocio, M^a J. (2011). *El puente de Hierro de Logroño*. Logroño: Fundación Práxedes Mateo-Sagasta: Instituto de Estudios Riojanos.
- [25] Querol, M. (2010). *Manual de gestión del patrimonio cultural*. Madrid: Akal.

– Libros

- Arenas, J. (2002). *Caminos en el aire: los puentes*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Asociación técnica de carreteras. (2014). *Criterios de intervención en puentes de fábrica*. Madrid: ATC.
- Cervera Ruiz, M. Blanco Díaz, E. (2001). *Mecánica de estructuras: Resistencia de materiales*. Barcelona: UPC.
- Chías Navarro, P. Abad Balboa, T. (1994). *Puentes de España*. Madrid: Grupo FCC.
- Domínguez, A. (2000). *La Revolución Industrial: Algunos Logros de la Ingeniería*. ANI - Academia Nacional de Ingeniería.
- Fernández Casado, C. (1972). *Acueductos romanos en España*. Madrid: Instituto Eduardo Torroja.

- Fernández Casado, C. (1976). *El acueducto de Segovia*. Barcelona: Ciba Geigy.
- Fernández Casado, C. (1980). *Historia del puente en España. Puentes romanos*. Madrid: Instituto Eduardo Torroja.
- Fernández Casado, C. (1983). *Ingeniería hidráulica romana*. Madrid: Turner.
- Nadal i Oller, J. (1975). *El fracaso de la revolución industrial en España, 1814-1913*. Barcelona: Ariel.
- Navascués Palacios, P. (2007). *Arquitectura e ingeniería del hierro en España (1814-1936)*. Madrid: Fundación Iberdrola.
- Sassi Perino, A. Faraggiana, G. (2004). *Puentes*. Barcelona: Librería Universitaria de Barcelona.
- Serna García-Conde, J. (2006). *Los puentes del tren*. Madrid: Fundación Esteyco.
- Wais, F. (1948). *Cien años de ferrocarril en España*. Madrid.

– Artículos

- Arrúe Ugarte, B. (2000). Aportación de la historia del arte a la metodología de estudio y catalogación de puentes. *Artigrama*, 15, 15-42.
- Biel Ibañez, P. (2000). Los puentes metálicos de carretera sobre el Ebro en la provincia de Zaragoza. *Artigrama*, 15, 125-144.
- Biel Ibañez, P. Pano García, J. (2006). Los puentes parabólicos de hierro y el ingeniero D. Joaquín de Pano y Ruata. *Artigrama*, 21, 543-57.
- Collazos Arias, F. Ruiz Bedia, M. (2018), Treto Bridge Refurbishment (Cantabria, 1905-2016). *Vitruvio International Journal of Architectural Technology and Sustainability*, 3 (1), 29-45.
- Fernández Troyano, L. (2014). El puente, obra de ingenieros (II). Puentes metálicos y de hormigón. *Revista de Obras Públicas*, 161 (3560), 47-58.
- Manterola Armisén, J. (1984). Evolución de los puentes en la historia reciente. *Informes de la Construcción*, 36 (359-360), 5-35.
- Manterola Armisén, J. (1988). Carlos Fernández Casado. *Informes de la Construcción*, 396 (40), 79-86.
- Ruiz Bedia, M. (2002). "Ferrocarril y obras públicas en el siglo XIX: la construcción del camino del tren". *Ferrocarril en La Rioja*, CS 10, IER, 11-42.
- Ruiz Bedia, M. (2002). "Sagasta ingeniero de caminos, el progreso material y las obras públicas". *Sagasta y el liberalismo progresista en España*, Cultural Rioja, 186-209.
- Sanz, F. (1985). Los grandes puentes de hierro del ferrocarril. *Vía Libre*, 18-22.

– Congreso

Burgos Núñez, A. (2015). Análisis estructural en el diseño de los primeros puentes metálicos del sudeste de España. Trabajo presentado en el *Noveno Congreso Nacional de Historia de la Construcción*.

– Documentos de fuentes electrónicas

Enciclopedia. (2009). Puente atirantado (Extraído el 6 de enero de 2019 de: enciclopedia.us.es/index.php/Puente_atirantado).

Heredia Campos, M. (2009). La elegancia de lo útil (Extraído el 3 de enero de 2019 de: <http://www.fomento.gob.es/AZ.BBMF.Web/documentacion/pdf/A22185.pdf>)

Paris city visión. (s.f). Biografía Gustave Eiffel (Extraído el 3 de enero de 2019 de: <https://www.pariscityvision.com/es/paris/monumentos/torre-eiffel/gustave-eiffel>)

Puentes colgantes y atirantados. (2012). Estructura de puente atirantado (Extraído el 6 de enero de 2019 de: puentescolgantesingenieriacivilunet2.blogspot.com/2012/10/estructura-de-puentes-atirantados.html)

TOUREIFFEL PARIS. (2019). Gustave Eiffel (Extraído el 3 de enero de 2019 de: <https://www.toureiffel.paris/es/el-monumento/gustave-eiffel>)

Wikipedia. (2018). Thomas Telford. (Extraído el 16 de diciembre de 2018 de: https://es.wikipedia.org/wiki/Thomas_Telford#Puentes_dise%C3%B1ados_por_Telford)

– Recursos Web.

Gobierno de La Rioja. Infraestructuras. <https://www.larioja.org/carreteras/es>

Instituto Geográfico Nacional. Cartografía y Datos geográficos. <http://centrodedescargas.cnig.es>

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Visor SigPac. <http://sigpac.mapama.gob.es/fega/visor/>

Ministerio de Cultura y Deporte. Documentos nacionales e internacionales sobre criterios de intervención. <https://ipce.culturaydeporte.gob.es/conservacion-y-restauracion/documentos-nacionales-internacionales.html>

Revista de Obras Públicas. Órgano profesional de los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. www.ropdigital.ciccp.es.

TODOPATRIMONIO. Portal de información sobre documentación y publicaciones en el ámbito de la conservación del patrimonio cultural. www.todopatrimonio.com